SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Stjepan Brozović

Zagreb, 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor: Student:

Prof. dr. sc. Predrag Ćosić Stjepan Brozović

Zagreb, 2016.

IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj završni rad izradio samostalno koristeći tijekom studija stečena znanja i vještine te služeći se navedenom literaturom.

Stjepan Brozović

_____

ZAHVALA

Zahvaljujem se svom mentoru Prof. dr. sc. Predragu Ćosiću na ukazanom povjerenju te na svim stručnim savjetima, ustupljenoj literaturi kao i na izdvojenom vremenu koje je uložio kako bi mi omogućio izradu ovog završnog rada. Isto tako zahvaljujem se svojoj obitelji i prijateljima koji su uvijek bili uz mene kroz školovanje, posebna zahvala ide mojim roditeljima koji su mi bili podrška kad mi je to bilo najpotrebnije.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum 19 -09- 2016	Prilog
Klasa: 602-04/16- 6/3	
Ur.broj: 15-1703-16-323	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Stjepan Brozović** Mat. br.: 0036457698

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Primjena koncepta održive proizvodnje u proizvodnji električnog vozila**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Implementation of the Sustainable Manufacturing in Production of the Electric Vehicle**

Opis zadatka:
Dati prikaz koncepta održive proizvodnje s različitih aspekata (društveni, ekonomski, proizvodni, ekološki). Objasniti značaj IPPC Direktive 96/61/EC. Objasniti način proračuna emisije štetnih tvari. Objasniti koncept "Smart City" i primjenu električnih vozila kao dijela tog koncepta. Na reprezentativnom dijelu/sklopu electičnog vozila pokazati način korištenja LCA metode za procjenu emisije štetnih tvari i energetsku učinkovitost.

Zadatak zadan:

25. studenog 2015.

Zadatak zadao:

Prof.dr.sc. Predrag Ćosić

Rok predaje rada:

1. rok: 25. veljače 2016.
2. rok (izvanredni): 20. lipnja 2016.
3. rok: 17. rujna 2016.

Predviđeni datumi obrane:
1. rok: 29.2., 02. i 03.03. 2016.
2. rok (izvanredni): 30. 06. 2016.
3. rok: 19., 20. i 21. 09. 2016.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Zoran Kunica

SADRŽAJ

POPIS SLIKA

POPIS TABLICA

POPIS KRATICA

KRATICA	ENGLESKI	HRVATSKI
BLDC motor	*Brushless Direct Curent motor*	Istosmjerni elektromotor bez četkica
CIB	*International Council for Research and Innovation in Building and Construction*	Međunarodno vijeće za istraživanje i inovacije u građevinarstvu
DALY	*Disability-Adjusted Life Year*	Stopa izgubljenih godina zdravoga života
ICT	*Information and Communication Technology*	Informacijska i komunikacijska tehnologija
GW	*Global Warming*	Globalno zatopljenje
LCA	*Life Cycle Assessment*	Procjena životnog ciklusa proizvoda
LCI	*Life Cycle Inventory analysis*	Faza popisivanja i analize podataka
LCIA	*Life Cycle Impact Assessment*	Određivanje utjecaja na okoliš
MOSFET	*Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor*	Metal-oksidni-poluvodički tranzistor sa efektom polja
SAI Platform	*Sustainable Agriculture Initiative Platform*	Platforma inicijative za održivu poljoprivredu
QSE	*Qualité Securité Environnement*	Kvalitetan i siguran okoliš
OD	*Ozone Depletion*	Trošenje ozona

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
m	kg	Masa
p	%	Postotni udio
n	kom	Broj komada
W	kWh	Količina električne energije
k	kWh/kg	Specifična količina električne energije

SAŽETAK

Ovim radom, kroz primjenu procjene utjecaja životnog ciklusa proizvoda na okoliš (LCA analize) prikazan je proces proizvodnje i reciklaže kućišta baterije električnog vozila. Kroz softverski paket „SimaPro“ primijenjena je LCA metoda za procjenu emisije štetnih tvari i energetsku učinkovitost spomenutih procesa.

Nadalje, prikazan je značaj održive proizvodnje s različitih aspekata, društvenog, ekonomskog, proizvodnog te ekološkog.

Objašnjena je povijest i najbitnije tehnološke značajke električnih vozila te je dana primjena električnog vozila kao dijela koncepta „Smart city“.

Ključne riječi: održiva proizvodnja, LCA metoda, eko otisak, električno vozilo, „Smart city“, životni ciklus proizvoda

SUMMARY

This paper, through the application of environmental impact of product life cycle Assessment (LCA analysis) shows the process of production and recycling of battery for electric vehicles. LCA method is applied through the software package "SimaPro" for estimating emissions and energy efficiency of these processes.

Furthermore, this paper shows the importance of sustainable manufacturing from various aspects, social, economic, production and ecological.

Explains the history and the most important technological features of electric vehicles and the use of a electric vehicle as part of the concept "Smart city".

Keywords: sustainable manufacturing, the LCA method, eco footprint, electric vehicle, "Smart city", product life cycle

1. UVOD

Od kad je svijeta postoji i čovjekova potreba za kretanjem, transportom i putovanjem. U tu svrhu kroz povijest čovjek je razvijao brojna prijevozna sredstva, počevši od primitivnih kolica i brodica pa do modernih brodova, automobila i zrakoplova današnjice. Kroz taj razvoj, kroz povijest, često je potreba za ekološkom i održivom proizvodnjom bila marginalizirana, dugo se o tome nije niti razmišljalo, bilo je nepotrebno. Tek krajem prošlog stoljeća kada je prekomjerna eksploatacija sirovina i zagađenje postalo ozbiljan problem, čovjek je shvatio i bio prisiljen promijeniti poglede i sam način proizvodnje. Taj problem poznat je otprije kao Hotellingovo pravilo[1] te je iz toga izrasla ideja o održivoj proizvodnji kao jedinom načinu na koji se može održati potrebni tempo rasta industrije, a da se sačuva okoliš i racionalnije iskoriste dostupne sirovine.

Stoga je i sadržaj ovog završnog rada orijentiran k održivosti i ekologiji, a sve kroz primjer vozila današnjice i budućnosti – električnog vozila. Električna vozila u svojoj su srži pravi primjer kako konstrukcija, proizvodnja, ekspoloatacija i reciklaža proizvoda treba izgledati i o čemu se sve treba voditi briga. Kroz primjer električnog vozila pokazano je da je održivost i ekologija moguća čak i kada se radi i o izrazito kompleksnom proizvodu, koji se sastoji od desetka tisuća komponenti i dijelova.

Kao reprezentativni dio kroz koji je korištenjem LCA metode prikazan ekološki utjecaj proizvoda kroz cijeli životni ciklus uzeto je kućište baterija električnih vozila. Baterije se uvijek kroz razne rasprave smatra velikim ekološkim rizicima, stoga je LCA metodom prikazano koliko se po pitanju ekologije i održivosti može postići ako se problemu pristupi ozbiljno, kvalitetno i sistematično.

[1] Hotellingovo pravilo - Harold Hotelling u svom poznatom radu „The economics of exhaustible resources“ iz 1931. godine je dao osnovne postavke ekonomike iscrpljivih resursa i time otvorio ovo značajno područje analize [1].

2. KONCEPT ODRŽIVE PROIZVODNJE

Koncept održive proizvodnje nastao je iz potrebe da se i industrijski sektor, te sam pristup industriji, pozabavi pitanjima utjecaja na okoliš. Kako je posljednjih desetljeća u svijetu tako i kod nas porasla svijest o brizi za okoliš, kroz razne direktive EU, pojavile su se brojne udruge i stranke zelenih koje brinu o ekologiji. Industrijska proizvodnja naišla je na mnoge kritike te je postala jedan od glavnih krivaca za rastuće zagađenje planeta. Iz tog razloga kao i zbog nametanja sve strožih zakonskih okvira po pitanju emisija štetnih tvari i plinova te zbog rastućih troškova sirovina i potrebe njihove sve iskoristivije upotrebe, bilo je potrebno razviti novu praksu u proizvodnji. Nekadašnja praksa da se šteta popravlja onda kada je već nanesena zamijenjena je praksom u kojoj se rizici u svim aspektima proizvodnje analiziraju u najranijim fazama te se teži njihovom uklanjanju.

Takvim načinom razmišljanja se došlo do koncepta održive proizvodnje kao poslovne strategije koja se fokusira na profitabilnost i društveni boljitak kroz ekološki prihvatljive proizvodne strategije koje su dugoročno isplative. Došlo se do zaključka da je održiva proizvodnja zapravo logičan tijek razvoja nekog poduzeća. Poslovna strategija temelji se na principu dugoročne isplativosti i očuvanju okoliša, a to može biti jedan od temelja za konkurentsku prednost u budućnosti.

2.1. Utjecaj održive proizvodnje na društvo [2]

Sagleda li se šira slika značaja proizvodnje u današnjem društvu, može se zaključiti da cjelokupna društvena stabilnost, rast i napredak ovise o razini i kvaliteti industrijske proizvodnje na kojoj društvo počiva. Može se ustvrditi da je „zdrava“ industrijska proizvodnja temelj svakog razvijenog društva današnjice. Iz tog razloga primjena koncepta održive proizvodnje u industriji može ostvariti puno dublji utjecaj na društvo nego što je to na prvu vidljivo. Primjenom koncepta održive proizvodnje, održivost postaje bitan dio i kod ostalih ljudskih potreba poput hrane, stanovanja, slobodnog vremena i dr.

Diljem svijeta pojavljuju se alternative klasičnoj poljoprivredi. Neke od važnih inicijativa u tome području jesu ekološki uzgoj, donošenje međunarodnih konvencija, lokalne udruge koje spajaju urbani i ruralni svijet te povratak drevnim tehnikama. Ekološki uzgoj upravo je takav tip proizvodnje u kojoj se poštuje ekološka ravnoteža i samostalnost

poljodjelaca. Glavne su značajke ekološkog uzgoja odsutnost sintetičkih kemijskih proizvoda, oporaba (recikliranje) organskih tvari, primjena plodoreda te suzbijanje štetočina i bolesti biološkim sredstvima. Kod uzgoja stoke teži se ekstenzivanom prije nego intenzivnom pristupu, primjenjuju se alternativni veterinarski postupci i poštuje dobrobit životinja. Danas je ekološki uzgoj prihvaćen u nekoliko stotina zemalja te je njime obuhvaćena površina od 24 milijuna hektara. U suradnji s različitim ekološkim uzgajivačima vodeće tvrtke u industrijskoj proizvodnji hrane, kao što su Nestlé, Kraft i McDonald's, stvorile su osnovu za podupiranje i promidžbu razvoja održive poljoprivrede po cijelom svijetu. U Platformi inicijative za održivu poljoprivredu (SAI Platform) čije je sjedište u Ženevi, održiva poljoprivreda se definira kao:

„Proizvodnja poljoprivrednih proizvoda se odvija na produktivan, konkurentan i učinkovit način kojim se istodobno štite i poboljšavaju okoliš i društvenogospodarski uvjeti u kojima žive lokalne zajednice“.

U mnogim zemljama prihvaćene su metode za procjenu utjecaja na okoliš koje su vrlo korisne kada se donose građevinske odluke. Međunarodno vijeće za istraživanje i inovacije u građevinarstvu (CIB) preispitalo je praktičnu primjenu nekoliko njih. Takvim metodama potanko se analizira svako razdoblje postojanja neke zgrade počevši od odabira građevnoga materijala i organizacije gradilišta do upravljanja energijom, vodom, otpadom i aktivnostima, a pritom se ne zaboravlja ni na udobnost (na izgled, toplinsku i zvučnu izolaciju). Prije desetak godina u Francuskoj je pokrenut certifikat Haute Qualité Environnementale, koji se dodjeljuje graditeljskim projektima kojima se smanjuju štetni utjecaji građevine na okoliš i pritom omogućuje zdrava, udobna i dobro izolirana unutrašnjost. Norma ISO i Qualité Securité Environnement (QSE) odnose se na procjene različitih građevnih materijala (za temelje, unutarnje uređenje i sustave). U Kanadi postoji metoda Green Globes kojom građevinari preko interneta mogu provjeriti koliko koji materijal utječe na okoliš [2].

Upravljanje lancem nabave logičan je nastavak na koncept održive proizvodnje koji je svoju primjenu našao i u svakodnevnom životu. Poduzeća se služe različitim načinima da bi svoje kupce opskrbila odgovarajućim količinama traženog proizvoda, na točno određenom mjestu i u točno određeno vrijeme. Upravljanje nabavom na takav način prisutno je u svakom stupnju proizvodnje i distribucije kako bi se smanjili količina uskladištenih zaliha i vrijeme potrebno za dostavu, tj. izbjegli nepotrebna potrošnja energije i stvaranje otpada. Sve više poduzeća i ustanova počinje provoditi programe odgovorne kupnje. Svakoga dana povećava se broj pojedinaca i ustanova koji kupuju ekološki proizveden proizvod ili se pak koriste

solarnom energijom ili energijom vjetra. Na takve načine zamjenjuju se uobičajeni proizvodi i sredstva kojima se troše velike količine energije, vode i drugih prirodnih dobara.

2.2. Ekonomski utjecaj održive proizvodnje [2]

Već desetljećima profitabilnost je načelo po kojem djeluje potrošačko društvo, koje uvijek proizvodi i troši sve više po sve nižoj cijeni. Takva sklonost pridonosi neumjerenom iscrpljivanju prirodnih dobara, povećanju onečišćenosti vode i zraka, izumiranju biljnih i životinjskih vrsta te gomilanju otpada. Da bi se prekinuo taj lanac, valja poduzeti hitne mjere kako bi se bolje iskoristili postojeći resursi. Dakle, treba ograničiti proizvodnju otpada i izbjeći neumjereno trošenje i onečišćivanje, a istovremeno zadovoljiti globalnu potražnju za dobrima i uslugama. U današnje vrijeme poduzeća uvelike prihvaćaju takav pristup te pri izradi svojih strategija u obzir uzimaju održivi razvoj. To je već postalo i političko pitanje. Godine 2000. svjetske su vlade u Malmöu (Švedska) pozvale na poštivanje načela održive proizvodnje i potrošnje kako bi se poboljšala kvaliteta konačnih proizvoda i usluga te smanjilo utjecaj industrije na okoliš i zdravlje.

Kod pristupa problemu s ciljem poboljšanja održivosti teži se tomu da se postojeći proizvodi i usluge učine ekonomičnijima, učinkovitijima i manje štetnima za okoliš, kao i tomu da se poboljšaju pružanje usluga nakon prodaje te prikupljanje i obrada proizvoda na kraju životnog vijeka.

Primjena koncepta održive proizvodnje predstavlja sustav koji se bavi sredstvima unutar i izvan poduzeća s ciljem razvoja dugoročno održivih proizvoda. Uz takvo ekološko i društveno odgovorno poslovanje održiva proizvodnja izvor je prednosti pred konkurencijom. Brojne studije, provedene u mnogim zemljama korištenjem različitih statističkih metoda i tehnika, utvrdile su da integracija socijalnih i ekoloških aspekta u tehničkim i organizacijskim aktivnostima poduzeća povećavaju njihovu ekonomsku stabilnost na tržištu. Detaljnijom analizom koncepta održive proizvodnje, neke studije su ustvrdile da korištenje koncepta održive proizvodnje vodi poboljšanju ekonomske situacije poduzeća. Na primjer, provođenjem empirijskog istraživanja o održivom lancu nabave među 212 američkih proizvodnih tvrtki, utvrđeno je da praksa održive proizvodnje dovodi do povećanja operativne, tržište i financijske moći tvrtke. Pri tome se energetska učinkovitosti, očuvanje voda, smanjenje otpada i upotrebe resursa poboljšalo, te je time smanjen ekološki utjecaj. Tvrtke su u mogućnosti povećati operativnu učinkovitost te kvalitetu proizvoda i produktivnosti, temeljem ušteda, smanjenjem proizvodnih vremena, i dr. Također primjena

koncepta održive proizvodnje vodi ka profitabilnosti, većem tržišnom udjelu, a raste i ugled poduzeća te se otvaraju nove tržišne mogućnosti [3].

2.3. Ekološki utjecaj održive proizvodnje [2]

Ekologija i očuvanje okoliša pri samo su vrhu prioriteta u svakom području ljudskog djelovanja. Kada se govori o proizvodnji u širem smislu, kroz upotrebu energije i sirovina te zbrinjavanja istih nakon njihove upotrebe, može se zaključiti da je ekologija postala prioritet u svim granama industrijske proizvodnje u razvijenim zemljama.

Održiva proizvodnja današnjice svakako bi se trebala zasnivati na obnovljivim izvorima energije – suncu, vodi, vjetru, biomasi i geotermalnim izvorima. Dodatno je potrebno voditi računa o energetskoj učinkovitosti[2] proizvedenih proizvoda (npr. alatnim strojevima, kućanskim aparatima i dr). Pomoću njih je moguće udovoljiti potrebama industrijske proizvodnje i pri tome sačuvati okoliš od korištenja fosilnih goriva na kojima se trenutno bazira tri četvrtine trenutno proizvedene energije na svijetu. Dizelsko gorivo, mazut, ugljen i benzin još se uvijek najviše koriste te uvelike onečišćuju atmosferu. No, postoje brojni primjeri razvoja alternativnih goriva za pogon vozila, kao što su biogoriva proizvedena od estera, etanola ili biljnih ulja (repičinog, suncokretova, palmina, sojina, kikiriki-jeva i kokosova) koja pronalaze svoju prvu stvarnu primjenu, ponajprije u javnom gradskom i međugradskom prijevozu te u službenim vozilima javnih poduzeća.

U okviru održive proizvodnje, poduzeća bi trebala: optimizirati grijanje i rasvjetu u proizvodnim i uredskim prostorima te pri tome davati prednost prirodnom svijetlu, štednim žaruljama i automatskoj regulaciji razine osvjetljenja u prostoriji, što pozitivno djeluje i na ergonomske čimbenike u radu. Proizvodne hale i uredi trebaju biti građeni u skladu s energetskim certifikatima najviše razine te uz to treba poticati osoblje na to da se pronađu dodatni načini za smanjenje troškova grijanja i klimatizacije prostora.

Nadalje, koncept održive proizvodnje nalaže uporabu novih materijala koji se dobivaju iz prirodnih te obnovljivih izvora. Budući da su ti materijali uglavnom prirodnog porijekla, po svojem su sastavu biorazgradivi te ih je moguće oporabiti ili reciklirati na siguran način. Na primjer, plastika načinjena od krumpira, kukuruza, pšenice ili ražena škroba – bioplastika, alternativa je uobičajenim naftnim nusproizvodima takve vrste.

[2] Energetska učinkovitost - je skup isplaniranih i provedenih mjera čiji je cilj korištenje minimalno moguće količine energije tako da razina udobnosti i stopa proizvodnje ostanu sačuvane

Proizvodnja takve plastike pridonosi tomu da se smanji opseg crpljenja neobnovljivih izvora te da se otvaranjem novih mogućnosti potakne razvoj poljoprivrede. Ipak, novi se materijali, ovisno o njihovoj uporabi, moraju podvrgnuti sveobuhvatnoj kvantitativnoj analizi (u pogledu iskorištavanja vode i energije, sastojaka, skupljanja na kraju životnog vijeka itd.) kako bi se dokazalo da su uistinu prihvatljiviji za okoliš.

2.4. Primjena koncepta održivosti u proizvodnji

Kada govorimo o konceptu održivosti[3] u proizvodnji prva misao kod većine ljudi kada se spomene održivost jest proizvodnja koja podrazumijeva samo kontrolu onečišćenja i utjecaja na okoliš ili pak programe recikliranja i oporabe prilikom proizvodnje proizvoda. U stvarnosti je, međutim, koncept održive proizvodnje puno širi. Procesi se nastoje minimizirati na način da se smanji utjecaj proizvodnog procesa na okoliš u svakom dijelu životnog vijeka proizvoda od zamisli, konstrukcije, preko proizvodnje i ekspoloatacije, pa sve do reciklaže i oporabe. Kada se postigne taj zatvoreni krug održivosti pojedinog proizvoda može se govoriti o zelenoj proizvodnji (eng. *green production*[4]).

Analizom koju George Zinkhan i Les Carlson navode, u časopisu "Journal of Advertising" [5], dolazi se do toga da se potrošači ne brinu samo o kupnji i procesu potrošnje, već i o procesu proizvodnje, u smislu korištenja prirodnih resursa kojih ima u sve manjoj mjeri. Kada se u obzir uzmu činjenice koje Stuart Hart iznosi u svojoj studiji "Beyond Greening: Strategies For A Sustainable World" [5], gdje na sljedeći način definira Zelenu proizvodnju:

Zelena proizvodnja se fokusira na tri temeljna cilja:

1) smanjenje štetnih emisija u vodu, zrak i tlo,
2) biranje najprikladnijih materijala, pretvaranje otpada u sirovine, davanje prednosti obnovljivim materijalima i smanjenje količine neobnovljivih oblika energije,
3) smanjenje ukupnih troškova životnog ciklusa ("od kolijevke do groba[5] ") proizvoda ili usluga

[3] Održivost – je sposobnost održavanja ravnoteže određenih procesa ili stanja u nekom sustavu.

[4] Green production – zelena proizvodnja je poslovna strategija koja se fokusira na profitabilnost kroz ekološki prihvatljiv poslovni model.

[5] „od kolijevke do groba“ – eng. *„cradle 2 the grave“* misli se na cjelokupni životni ciklus proizvoda od ekstrakcije sirovine, preko konstrukcije i proizvodnje, sve do oporabe istog

Sprečavanje onečišćenja, održivi proizvodi i čista tehnologija primiču poduzeća prema održivosti. No, bez okvira koji će usmjeriti ove aktivnosti, njihov utjecaj će se izgubiti. Imati viziju održivosti za industriju ili poduzeće je način osiguranja budućnosti, koji pokazuje način na koji se proizvodi i usluge moraju razvijati i koje će kompetencije će biti potrebno doseći. Uzmimo za primjer auto industriju. Tijekom 1970-ih, državna regulativa emisije ispušnih plinova prisilila je auto industriju da se usredotoči na kontrolu onečišćenja. U 80-tim godinama auto industrija počinje se baviti problemom onečišćenja zraka nastalog zbog emisije ispušnih plinova. Inicijative poput „Corporate Average Fuel Efficiency Requirement“ i „Toxic Release Inventory“ dovele su do toga da proizvođači automobila ispitaju načine na koje projektiraju pojedine proizvode te tehnologije kojima se služe u proizvodnim procesima kako bi se poboljšao utrošak energenata i sirovina te smanjile emisije štetnih plinova iz pogona. U 80-tim godinama svjedočimo prvim promjenama u auto industriji po pitanju ekološke osviještenosti proizvođača, istina zbog značajnog pritiska ekološki osviještenih stranaka. U Njemačkoj 1990. godine "take-back" zakon obavezuje proizvođače automobila da preuzmu odgovornost za svoja vozila na kraju vijeka trajanja. Među predvodnicima tog novog pristupa u dizajnu automobila, poput BMW, kod dizajna novih automobila vodi se računa o kasnijoj demontaži i reciklaži pojedinih dijelova vozila. Partnerstva na industrijskoj razini poput Partnerstva za novu generaciju vozila su u najvećoj mjeri vođena ekološkom osviještenošću kao načinu razmišljanja i poslovanja koje smanjenje učinak automobila na okoliš tijekom njihovog životnog ciklusa [5].

Slika 1. Prikaz koncepta održive proizvodnje [6]

Na slici 1. pojednostavljeno je prikazan koncept održive proizvodnje u svakom dijelu životnog vijeka proizvoda od zamisli, odnosno konstrukcije i proizvodnje, preko pakiranja i distribucije s ciljem prodaje, eksploatacije i održavanja proizvoda, konačnog odlaganja proizvoda, pa sve do reciklaže, odnosno oporabe.

2.5. Značaj IPPC Direktive 2008/1/EC [7]

Direktiva 2008/1/EC direktiva je vijeća Europske unije od 15. siječnja 2008. godine i govori o integriranom sprečavanju i kontroli onečišćenja, zamjenjuje prethodnu direktivu 96/61/EC[6]. Svrha je ove Direktive postizanje integriranog sprečavanja i kontrole zagađenja koje proizlazi iz djelatnosti kao što su: rafinerije mineralnih ulja i plinova, koksare, tvornice za proizvodnju plina i tekućina iz ugljena, proizvodnja i prerada metala, postrojenja za prženje i sinteriranje metalnih rudača, postrojenja za proizvodnju sirovog željeza ili čelika (primarno ili sekundarno taljenje), uključujući i neprekinuto lijevanje, industrija prerade minerala, kemijska industrija, industrija površinske zaštite metala, gospodarenje otpadom te ostale industrijske grane. Direktivom se utvrđuju mjere kojima se sprečavaju, ili ako to nije moguće, smanjuju emisije u vodu, zrak i tlo zbog već navedenih djelatnosti, uključujući mjere u vezi s otpadom, radi provedbe visoke razine zaštite okoliša u cjelini.

IPPC Direktiva ima za cilj postizanje integralnog pristupa, sprečavanja i kontrole onečišćenja koje potječu od širokog spektra industrijskih i poljoprivrednih aktivnosti. U svojoj biti IPPC Direktiva bavi se minimiziranjem onečišćenja kroz iterativni pristup mjera prevencije i „end of pipe“ rješenja. Direktiva sadrži osnovna pravila za izdavanje jedne integrirane dozvole, koja regulira cjelokupni utjecaj industrijskog postrojenja na okoliš (emisije u zrak, vodu, tlo, proizvodnju otpada, korištenje sirovina, energetsku efikasnost, buku, sigurnost na radu...)

[6] Direktiva Vijeća 96/61/EC od 24. rujna 1996. o cjelovitom sprečavanju onečišćenja i kontroli znatno je izmijenjena nekoliko puta. Direktivom 2003/35/EC, Direktivom 2003/87/EZ, Uredbom (EC) br. 1882/2003, Uredbom (EC) br. 166/2006 Europskoga parlamenta i Vijeća. Stoga je u interesu jasnoće i racionalnosti direktiva u potpunosti zamijenjena novom.

3. ELEKTRIČNI AUTOMOBIL

Iako su se prvi električni automobili pojavili još početkom prošlog stoljeća, napredak u njihovom razvoju bio je zasjenjen masovnom proizvodnjom i uporabom automobila pogonjenih motorima s unutarnjim izgaranjem. Razlog tome može biti tadašnja niska cijena fosilnih goriva i jak utjecaj naftne industrije. U zadnjih nekoliko godina ponovno se javlja ogroman globalni interes za električnim automobilima, što zbog sve veće ekološke osviještenosti društva, što zbog ogromnog napretka u učinkovitosti baterija. Mnoge su prednosti električnih automobila u odnosu na klasične:

- nema emisije stakleničkih plinova,
- manja ovisnost o fosilnim gorivima,
- veća učinkovitost motora,
- usporedno, veći okretni moment u odnosu na benzinski motor
- manja razina buke itd.

Unatoč tome, za daljnji razvoj i globalnu primjenu električnih automobila potrebno je riješiti još nekoliko značajnih prepreka od koji je najveća ograničen kapacitet baterija te vrijeme potrebno za punjenje baterije. Konstantan napredak na području razvoja baterija i energetske učinkovitosti sigurno dovode električne automobile u svakodnevnu primjenu, a samo je pitanje vremena kada će električni automobili biti u potpunosti konkurentni klasičnim, fosilnim gorivima pokretanim, automobilima [8].

3.1. Povijest i razvoj električnih automobila [8]

Prvi elektromotor s osnovnim dijelovima rotorom, statorom i komutatorom konstruiran je 1828. Time je ljudima i njihovim zamislima omogućeno da daljnjim usavršavanjem elektromotora dolazi i do prvih komercijalnih primjena elektromotora u industriji pa tako nastaju i prvi električni automobili.

Konstrukcija prvog pravog električnog automobila može se pripisati Robert Andersonu između 1832. – 1839. godine, dvadeset godina prije konstrukcije prvog motora s unutarnjim izgaranjem (Jean Joseph Étienne Lenoir, dvotaktni motor, 1860.; Nicolaus August Otto, četverotaktni motor, 1867.), odnosno prvog automobila na benzinski pogon (Karl Friedrich Benz, 1885. - 1886.). U narednim desetljećima dolazi do velikog napretka u razvoju

električnog automobila i njihove komercijalne primjene. Godine 1834. Thomas Davenport konstruira prvi istosmjerni elektromotor u SAD-u, potom je 1838. William H.Taylor (SAD) zaslužan za dalji razvoj elektromotora. Godine 1838. rusko-njemački fizičar Moritz von Jakobi (Boris Semyonovich) (1801. - 1874.) - izrađuje električni motor za pogon broda na rijeci Nevi u Petrogradu. U razdoblju 1837. - 1842. u SAD-u su Thomas i Emily Davenport razvili napredniju konstrukciju Faradayevog istosmjernog elektromotora tako da se mogao koristiti u komercijalne svrhe, napajati iz jednokratnih baterija, s primjenom u tiskarstvu i pogonu strojnih alata. Pri tome su bili veliki troškovi baterijskih izvora napajanja pa je potražnja za ovom vrstom motora bila premala. Stoga je bila zanemariva šira komercijalna uporaba električnih automobila. Godine 1842. Thomas Davenport i Robert Davidson (Škotska) neovisno konstruiraju bolji električni automobil koji koristi cinkove baterije koje se nisu mogle puniti nego su se mijenjale što je bilo vrlo skupo. U periodu 1859. - 1865. Gaston Plante (Francuska) istražuje i razvija punjive baterije, preteča današnjih akumulatora koristeći olovo u kiselini. Godine 1881. Camille Alphonse Faure (Francuska) konstruira bolje olovne baterije većeg električnog kapaciteta što je preduvjet za daljnji razvoj električnih automobila. Frank Julian Sprague 1886. konstruirao je prvi praktični istosmjerni motor koji je bio sposoban održati konstantnu brzinu pri promjenljivom teretu. William Morrison izrađuje elektromobil 1891. Kasno 19. stoljeće smatra se zlatnim dobom za električne automobile; u Londonu Walter C. Bersey proizvodi električne automobile za potrebe taksi prijevoza, a iste godine „Electric Carriage and Wagon Company of Philadelphia“ uvodi električne taksije u New York City-u. Iako su u to doba već postojali automobili pogonjeni motorima s unutarnjim izgaranjem, električni automobili imali su brojne prednosti nad konkurencijom: nepostojanje ispušnih plinova, manja buka te ugodnija vožnja bez potrebe za ručnom promjenom stupnja prijenosa. U to vrijeme jedino ograničenje električnih automobila je bio radijus kretanja i prosječna brzina. Veliki nedostatak automobila pogonjenih motorom s unutarnjim izgaranjem bio je start motora, odnosno potreba za ručnim pokretanjem. Početkom 20. stoljeća električna vozila (EV) imaju veći udio u ukupnom broju automobila u SAD. Godine 1916. Woods Motor Vehicle Company of Chicago proizvodi hibridni automobil. Iako prvih godina 20. stoljeća električni automobili čine većinu svih automobila u SAD, u razdoblju 1935 - 1960. dolazi do zastoja u razvoju EV, zbog početka 2. svjetskog rata i poratnog stanja. Dvadesetih godina 19. stoljeća dolazi do poboljšanja cestovne infrastrukture te najveći nedostatak električnih automobila postaje sve izraženiji, baterije koje su služile za napajanje elektromotora nisu dovoljne za duže vožnje električnim automobilom. Otprilike u

isto vrijeme otkrivaju se i ogromna nalazišta nafte diljem svijeta, uglavnom u SAD-u, te naftni derivati postaju najisplativiji izvor energije, a automobili pogonjeni motorom s unutarnjim izgaranjem, zahvaljujući serijskoj proizvodnji, nameću se kao jeftinije i pouzdanije prijevozno sredstvo. Razvoj tehnologije EV bio je ograničen razvojem akumulatorskih baterija kao najslabijom komponentom. U periodu 1910. - 1925. akumulatorska baterije su tehnološki napredovale, npr.: kapacitet akumulatora povećan je za 35%, vijek trajanja za 300%, radijus kretanja vozila za 230%, troškovi održavanja akumulatora su smanjeni za 65%. Danas je električni automobil ponovo postao vrlo interesantan jer je suvremeni održivi razvoj utemeljen na ekologiji i štednji energije. Energija za potrebe transporta iznosi 40-60% ukupne potrošnje fosilnih goriva. Električna vozila trebaju električnu energiju za pogon koja se dobiva iz elektrana. Tijekom noći elektroopskrbne tvrtke imaju problem s plasiranjem električne energije zbog potreba protočnih hidroelektrana ili pak pogonskih minimuma termo i nuklearnih elektrana. Također, električna energija koja se dobiva iz termoelektrana, preradom fosilnih goriva, ima značajno bolji stupanj korisnog djelovanja nego je to slučaj kod motora s unutarnjim izgaranjem. To ukazuje na mogućnost dobre sinergije između elektroopskrbni tvrtki i potreba za električnom energijom za EV poglavito ako bi se punjenje obavljalo većinom u noćnom režimu, iz razloga jeftinije noćne tarife obračuna električne energije. Električna vozila su po radijusu kretanja i cijeni po km idealna za gradske potrebe poput odlaska na posao ili trgovinu, gradskog prijevoza i slično. Gotovo svi proizvođači automobila imaju razvoj, a neki i proizvodnju električnih vozila, npr. Mitsubishi MiEV, Nissan Leaf, Tesla Model S, BMW i3, VW e-Golf, Chevrolet Volt, Opel Ampera i drugi. Također, ovoj „novoj“ industriji pridružuju se nove male i velike tvrtke kao što su: DOKING s malim gradskim automobilom xD (za sada u fazi prototipa), Rimac Automobili sa super sportskim automobilom Concept ONE, Fisker Automotive sa svojim luksuznim sportskim sedanom Karma i drugi.

Tijekom cijelog 20. stoljeća, električni automobili su bili u potpunosti zasjenjeni vozilima pogonjenima motorom s unutarnjim izgaranjem. No u zadnje vrijeme ponovno se javlja interes za električnim automobilima. Sve veći naglasak na ekološkoj osviještenosti, ali i zbog činjenica da su naftne rezerve ograničene, ponovo postavlja električni automobili u fokus mogućih tehničkih rješenja u prometu. Električna vozila rade vrlo tiho i nemaju direktnu emisiju štetnih plinova na mjestu funkcije. Stoga se njihova najveća primjena očekuje u bolnicama, skladištima, nacionalnim parkovima, parkovima prirode i velikim gradovima.

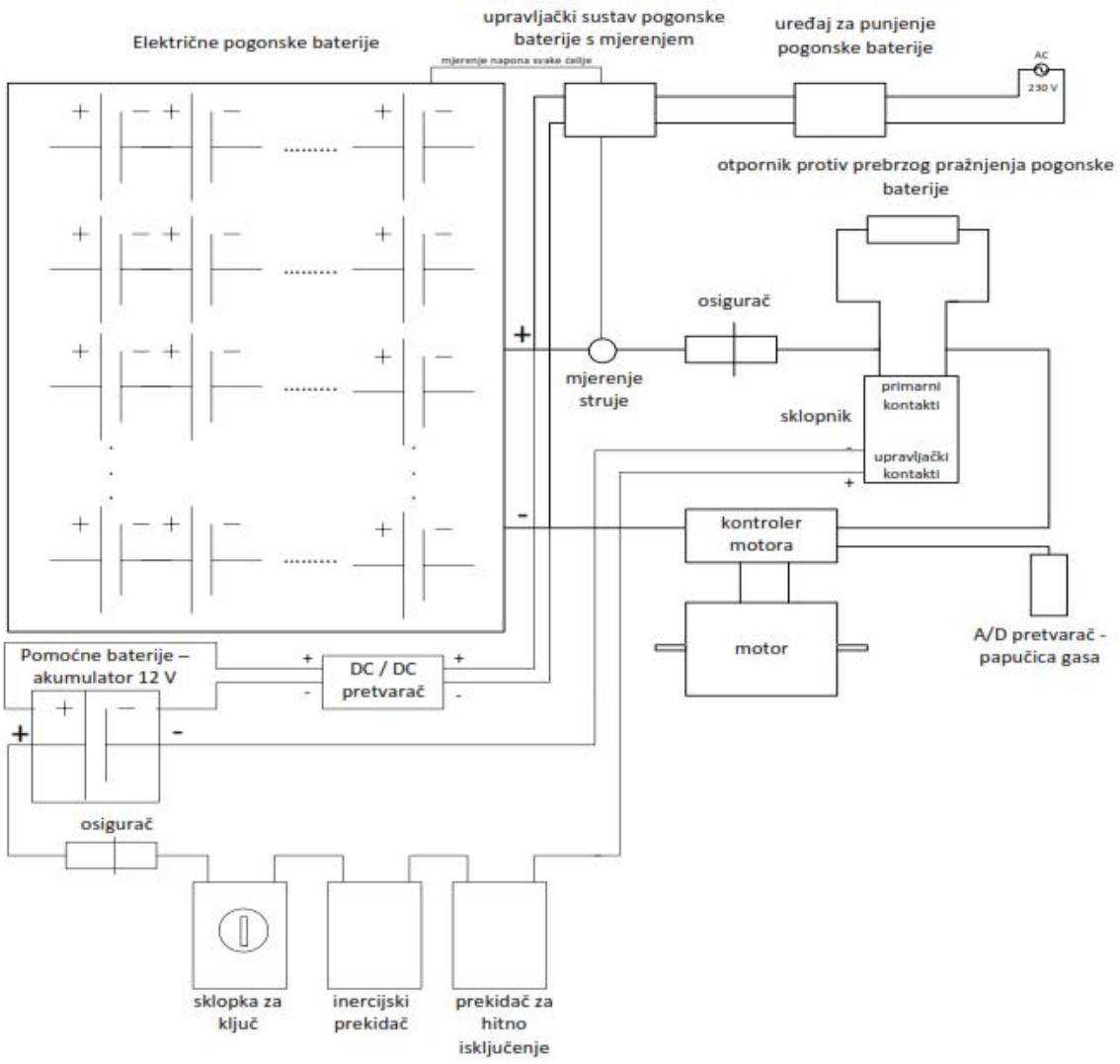
3.2. Osnovni elementi za pogon električnog automobila [8]

Osnovni elementi za pogon električnog automobila su električni motor, električne pogonske baterije te kontroler motora. Ostali dijelovi električnog automobila su: analogno-digitalni pretvarač signala papučice gasa – daje informaciju o željenoj brzini od stane vozača, sklopnik, osigurač ili prekidač, istosmjerni pretvarač napona za pogon uobičajeno ugrađenih trošila vozila na naponskoj razini 12 V (svjetla, pokazivači smjera, brisači, zvučni signal, radio uređaj i slično). Nadalje svako električno vozilo opremljeno je mjernim instrumentima koji sadrže pokazivač preostalog kapaciteta baterije, napona, struje i snage, mjeračem brzine te punjačem za baterije. Ostali dijelovi koje vozilo na električni pogon mora sadržavati su: kabeli pogonskog napona, kabeli pomoćnog napona 12 V, baterije pomoćnog napona 12 V, kabelske stopice te kabelski priključci.

Baterija je komponenta koja određuje ukupne karakteristike električnog vozila, utječe na njegovu cijenu, autonomiju odnosno doseg te njegovu raspoloživost[7]. Dva su čimbenika koji određuju performanse baterije: energija koja se očituje putem autonomije vozila i snaga koja definira performanse vozila u vidu maksimalne brzine i ubrzanja. Omjer snage i energije (engl. power/energy ratio) – pokazuje koliko je snage po jedinici energije potrebno za određenu primjenu.

Ostali dijelovi koje vozilo na električni pogon može sadržavati su: sklopka za ključ, prekidač hitnog isključenja, inercijski prekidač, otpornik protiv prebrzog pražnjenja električne pogonske baterije, upravljački sustav baterija, upravljački sustav električnog vozila, električna pumpa za pogon servo-sustava upravljanja volanom, ako isti postoji a nije riješen hidrauličkom pumpom s remenskim prijenosom. Slika 2. prikaz je blok-sheme elemenata vozila na električni pogon.

[7] Raspoloživost električnog vozila – odnosi se na potrebu baterije za punjenjem i na samo vrijeme trajanja punjenja.

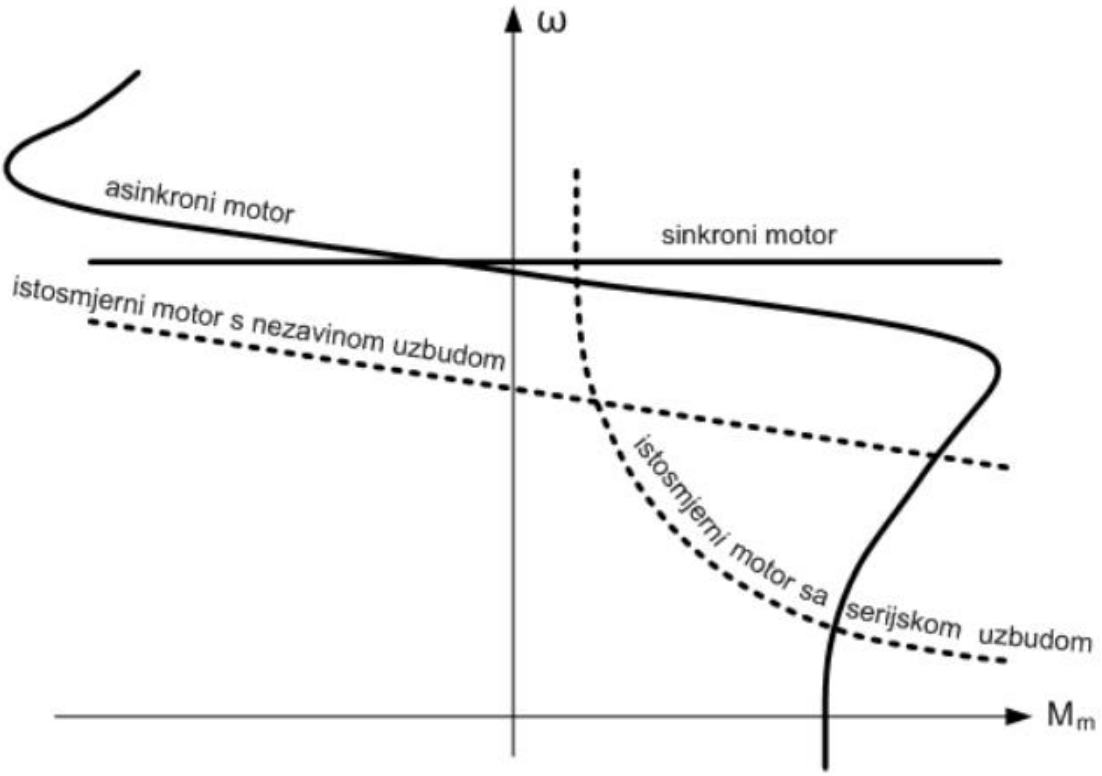


Slika 2. Blok-shema elemenata vozila na električni pogon [8]

3.2.1. Električni motor [8]

Najvažnija komponenta svakog električnog automobila je električni motor. Električni motor je električni stroj koji električnu energiju pretvara u mehaničku koristeći princip elektromagnetske indukcije. Motori konstrukcijski imaju dva namota, statorski i rotorski, od kojih je jedan uzbudni a drugi radni ili armaturni namot. Osnovne vrste električnih strojeva prema izvoru napajanja mogu se podijeliti na istosmjerne motore (DC), izmjenične motore (AC) te koračne elektromotore. Prednosti izmjeničnih elektromotora u odnosu na istosmjerne, gledano po jedinici snage, su: manja masa, manje dimenzije, manji moment inercije, manja cijena, veća brzina vrtnje, veći stupanj korisnog djelovanja (0,95-0,97 u odnosu na 0,85-0,89), jednostavno i jeftino održavanje. Prednost istosmjernih elektromotora u odnosu na izmjenične je lakše i jeftinije upravljanje, odnosno lakši i jeftiniji upravljački moduli.

Elektromotor treba osigurati najprikladniji rad sustava u stacionarnim i prelaznim režimima rada kao što su ubrzanja, kočenja, promjena opterećenja ili drugih utjecajnih veličina. Vanjska karakteristika motora služi kao osnovni kriterij pri izboru vrste motora za radni mehanizam.



Slika 3. Vanjske karakteristike različitih tipova elektromotora [8]

Slika 3. prikazuje moment elektromotora ujedno i moment tereta *M* koji je funkcija brzine vrtnje *ω*. Matematičku funkciju brzine elektromotora ovisne o momentu elektromotora $\omega = f(M)$ nazivamo vanjskom ili mehaničkom karakteristikom elektromotora.

Uz vanjsku karakteristiku kod elektromotora značajno je odrediti i elektromehaničku karakteristiku, koja predstavlja ovisnost brzine vrtnje o jakosti struje $\omega = f(I)$.

U daljnjem dijelu dati su primjeri par najčešćih i najpopularnijih tipova elektro motora koji se koriste kao pogonski motor za električni automobil.

3.2.1.1. AC indukcijski elektromotor [9]

Izmjenični asinkroni ili indukcijski motor, napaja se iz mreže izmjeničnoga trofaznog ili jednofaznog napona. U asinkronome motoru okretno se magnetsko polje stvara prolaskom trofazne struje kroz trofazne namote smještene na statoru. Ono se može stvoriti i priključkom motora na jednofaznu mrežu, ako se dva fazna namota prostorno pomaknu za prikladan kut i ako se u jedan namot doda kondenzator, kojim se ostvari fazni pomak među strujama kojima se napajaju ta dva namota, pa se dobije kondenzatorski motor. Nastalo okretno statorsko magnetsko polje inducira u rotorskim vodičima napone i struje koje stvaraju svoje okretno magnetsko polje. Međudjelovanjem tih dvaju polja stvaraju se elektromagnetske sile i zakretni momenti uzrokuju vrtnju rotora. Te sile i momenti postoje samo dotle dok silnice okretnoga polja sijeku vodiče rotora, a nestale bi onoga časa kada bi se brzine rotora i okretnoga polja izjednačile, odnosno kada bi se uspostavio sinkron odnos brzina vrtnje, tj. kada bi nestalo relativnoga gibanja vodiča rotora prema okretnome polju, pa prema tome i induciranih napona i struja u rotorskim vodičima. Za ispravan rad takva motora nužno je da brzina vrtnje rotora bude neznatno manja od sinkrone brzine, tj. da se ostvari tzv. klizanje rotora, pa odatle naziv asinkroni motor.

3.2.1.2. Klasični DC elektromotor [9]

Istosmjerni elektromotor pretvara istosmjernu električnu struju u rotacijsko gibanje. Stroj je tako konstruiran da može raditi kao električni generator istosmjerne struje ako se mehanički pokreće vanjskom silom. Putem kolektora i četkica ostvaruje se električni kontakt s rotorskim namotom i pretvara izmjeničnu struju u istosmjernu. Motor se izvodi s neovisnom, serijskom, složenom uzbudom ili s trajnim magnetima. Zbog mogućnosti kontinuirane promjene brzine okretanja istosmjerni se motor rabi u industriji te za pogon tračnih i nekih posebnih vozila kao npr. tramvaja, lokomotiva, elektromobila i dr. Brzina se mijenja na razne načine, a u suvremenim se pogonima upravlja računalom. Zbog mogućnosti napajanja iz akumulatorskih baterija, istosmjerni se motor rabi i kao pokretač motora s unutarnjim izgaranjem, npr. u automobilima i dizelskim agregatima. Ipak, zbog izradbe komutatora i njegova održavanja te trošenja četkica i popratnog iskrenja, istosmjerni se motor, s obzirom na nabavnu cijenu i pogonsku pouzdanost, manje koristi nego asinkroni motor.

3.2.1.3. BLDC elektromotor

BLDC (*eng. Brushless Direct Curent*) motor je sinkroni motor koji preko uređaja zvanog regler ili ESC (*eng. Electric Speed Controller*) pretvara istosmjernu struju u izmjeničnu koja pogoni motor. Ta izmjenična struja nema klasičan sinusoidni valni oblik, već je to dvosmjerna struja bez ograničenja na valnom obliku. Motor se sastoji od rotora s permanentnim magnetom i statora s armaturnim namotom. Magnetsko polje stvoreno na statoru i magnetsko polje stvoreno na rotoru jednakih su frekvencija te se zahvaljujući prikladnoj uzbudnoj struji moment kod ovog motora drži konstantnim. Na statorske namote dovodi se električna struja koja uzrokuje gibanje rotora. Pri tome se upravljačkim sklopom upravlja strujom dovedenom na statorske namote iz istosmjernog izvora napajanja preko izmjenjivača. Na taj način je statorskom namotu dovedena izmjenična struja pa kažemo da je riječ o elektroničkoj komutaciji[8] [8], [10].

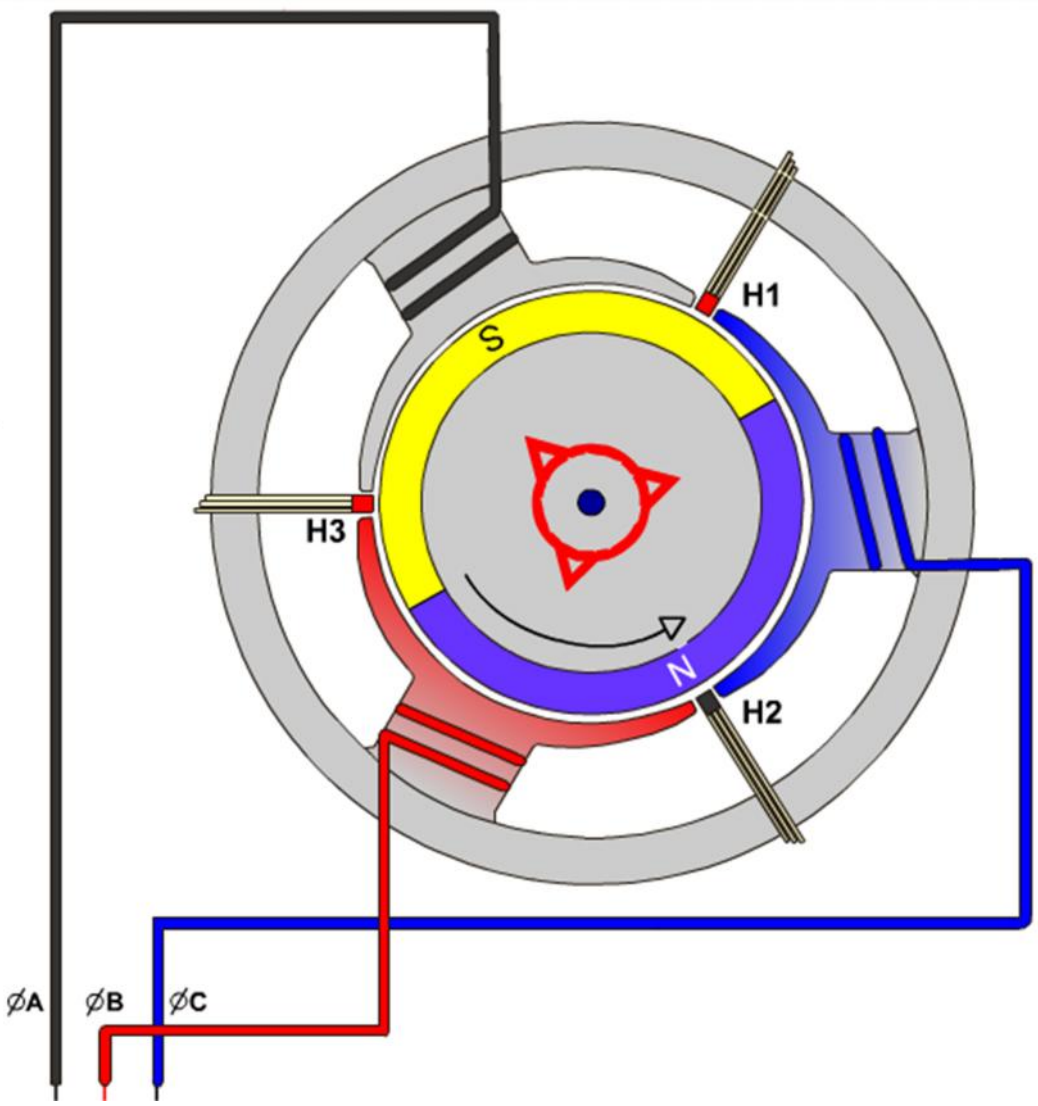
BLDC motor uslijed svoje konstrukcije ima nekoliko prednosti u odnosu na „klasični“ istosmjerni elektromotor s četkicama:

- Jednostavnije održavanje što ga čini izdržljivijim,
- Manji je i lakši,
- 85% -90% učinkovitiji,
- Ima kraće vrijeme odaziva i na višim radnim brzinama,
- Omogućuje jednostavniju kontrolu broja okretaja te hoda unatrag,
- Manje skloni kvarova i
- Može se samostalno-startati.

Isto tako, sama konstrukcija BLDC motora drži i ostale komponente vozila hladnijim i toplinski otpornima. Osim toga, kako je motor bez četkica, nema opasnosti od iskrenja [11].

Naziv „bez četkica“ (*eng. brushless*) ukazuje da se za komutaciju ne koriste četkice nego je motor elektronički komutiran odnosno energetski pretvarač s mjernim članom položaja rotora obavlja funkciju kolektora s četkicama.

[8] Elektronička Komutacija – kod energetske elektronike komutacija je prijelaz struje s jedne grane sklopa na drugu. Odnosno komutacija općenito označava zamjenu redoslijeda; matematički zakon komutacije definira neovisnost rezultata o redoslijedu elemenata nad kojima se izvodi operacija [12].



Slika 4. Principijelna shema dvopolnog BLDC elektromotora [13]

Slika 4. prikazuje trofazni dvopolni BLDC motor koji radi na način da su dvije faze koje proizvode najveći okretni moment pod naponom, dok je treća faza isključena. Pozicija rotora uvjetuje koje dvije faze će biti uključene. Struja koja protječe kroz fazni namot H1 statora, stvara magnetsko polje koje će privući permanentni magnet rotora. Ovim procesom započinje okretanje rotora elektromotora. Kada se u određenom trenutku napon s jedne faze prebaci na drugu fazu, s faze H1 na fazu H2, dolazi do pomicanja magnetskog polja statora u pozitivnom smjeru za 120° pa će se i rotor nastaviti kretati u istom smjeru. Kretanje rotora se nastavlja uslijed stvaranja rotacijskog elektromagnetskog polja koje nastaje kao posljedica prebacivanja struje iz jednog faznog namota u drugi fazni namot. U slučaju da se promjeni redoslijed uključivanja faza, rotor će se početi okretati u suprotnom smjeru [8].

3.2.2. Baterije

Jedan od ključnih elemenata svakog električnog vozila njegova je baterija. Baterija je elektrokemijski uređaj za pohranu energije koji može otpustiti električni naboj kada je to potrebno. Općenito se sastoji od anode, katode i elektrolita koji služi kao separator između dvije elektrode. Različite vrste baterija tipično se označavaju prema materijalima korištenim za njihovu izradu. Uobičajeno su to kombinacije litij-ion, litij-polimer, nikal-metal hidrid i dr.

Baterije se mogu sastojati od jedne ili više ćelija, koje se mogu povezati u serije kako bi se dobio veći izlazni napon. Na primjer, tipični 12V akumulator sastoji se od šest spojenih ćelija, dok baterijski paket za električna vozila može imati stotine pojedinačnih ćelija. Karakteristike baterija koje su od osobitog značaja za primjenu u električnim automobilima su specifična snaga i gustoća energije.

Gustoća energije mjera je kapaciteta baterije, odnosno govori koliko je energije jedna baterija u mogućnosti pohraniti. Što je veća gustoća energije, odnosno kapacitet, duže će vremena moći proteći između dva punjenja baterije.

Specifična snaga je mjera koliko snage baterija može isporučiti kada se pojavi zahtjev, odnosno koliko brzo može predati u sebi sadržanu energiju i obratno, koliko brzo se može puniti.

Kao primjer u daljnjem dijelu teksta biti će date neke uobičajene vrste komercijalnih automobilskih baterija i njihove karakteristike te prednosti i nedostaci. Kasnije će se u okviru analize životnog ciklusa baterije dati podrobnije informacije o samom načinu proizvodnje, eksploatacije te oporabe baterija za električna vozila [14].

<u>Nikal-metal hidrid</u>

Nikal-metal hidrid (Ni-MH) baterije obično se koriste u današnjim hibridnih vozila te u cjenovno niže razrednoj potrošačkoj elektronici, kao što su električne četkice za zube, britvice, fotoaparati i kamere [14].

NiMH baterije koriste pozitivne elektrode od nikal oksid hidroksida (NiOOH) i hidrida metala (metala i vodika), dok se za negativnu elektrodu koriste metalni hidridi. NiMH baterije podnose velike struje pražnjenja, mogu se puniti jakim strujama te ne pate od memorijskog efekta, no loše podnose punjenje koje traje vremenski duže no što je potrebno. Zbog toga za punjenje ove vrste baterija uglavnom nisu pogodni punjači za druge tipove baterija, već punjači s dinamičkom kontrolom napona te timerom ili sličnim uređajem.

U zadnje vrijeme na tržištu su se pojavile nove vrste NiMH baterija kod kojih je samopražnjenje svedeno na minimum, zbog uporabe novih separatora ćelija kapacitet se zadržava na razini od 85 do 90% tijekom jedne godine [15].

Litij-ion

Litij-ionske baterije uobičajene su u potrošačkoj elektronici. One su jedan od najpopularnijih tipova punjivih izvora električne energije za prijenosnu elektroniku radi iznimno visoke energetske gustoće, izostanka memorijskog efekta i male struje samopražnjenja. Pored potrošačke elektronike, popularnost litij-ionskih baterija postepeno raste u vojnoj i zrakoplovnoj industriji te industriji električnih automobila.

Značajke, troškovi, kemijska i sigurnosna svojstva variraju s obzirom na vrstu litij-ionskog akumulatora. Ručna elektronika uglavnom koristi akumulatore na temelju litij kobalt oksida (LiCoO2) koji nudi visoku gustoću energije, ali predstavlja sigurnosni rizik , pogotovo pri oštećenju. Kod električnih vozila najzastupljeniji je litij nikal manganov kobalt oksid (NMC) koji pruža manju gustoću energije, ali dulji životni vijek i veliku sigurnost pri oštećivanju. Zbog svoje visoke energetske gustoće, litij-ionske baterije prvi su izbor ugradnje za mnoge plug-in hibride, te kod velikog broja baterijskih električnih vozila.

Prednosti litij-ionskih baterija nad ostalim tipovima su: visoka energetska gustoća, malo samopražnjenje, mala potreba za održavanjem (s obzirom na mali memorijski efekt), kratki ciklusi punjenja-pražnjenja, te prema potrebi velika izlazna struja. Nedostaci su sljedeći: potreban je zaštitni krug, nešto veći unutarnji otpor, podložnije su starenju iako baterija nije u upotrebi, te skupa proizvodnja [16].

Litij-polimer

Litij-polimerska baterija je slična ostalim litij-ionskim baterija, s razlikom što koristi čvrste plastike, polimere, kao elektrolit. To znači da oblik baterijskih ćelija nije ograničen samo na cilindrični oblik kao kod većine drugih baterijskih tipova. Litij-polimerske baterije se mogu oblikovati u skladu s određenim prostorima unutar vozila, čime pružaju bolju iskoristivost prostora.

Njihove druge osobine su slične onima drugih Litij-ionskih baterija. Litij-polimerske baterije se već koriste kod nekih hibridnih vozila [14].

Litij-željezo fosfat (LFP)

Litij-željezo fosfat baterija koristi litij-ionsku kemiju, ali s katodom načinjenom od željeznog fosfata. Kako je Fe kemijski simbol za željezo, tako se došlo do kratice LFP. U usporedbi s drugim litij-ionskih baterija, LEP nudi vrhunsku toplinsku i kemijsku stabilnost, bez opasnosti od požara u slučaju previsokog napona ili kratkog spoja. Ona također ima mogućnost većih vršnih opterećenja, ali je zato gustoća energije znatno niža nego kod drugih na litiju baziranih baterija.

Litij-željezo fosfat baterije su za sada u primjeni kod hibrida i baterijskih električnih vozila nekih proizvođača automobila, koji smatraju da su njihova sigurnost i snaga prednosti koje nadmašuju nedostatak manje gustoće energije [15].

Usporedba značajki baterijskih tehnologija koje su spomenute u prethodnom tekstu prikazana je u Tablici 1.

Tablica 1. Usporedba značajki baterijskih tehnologija [17]

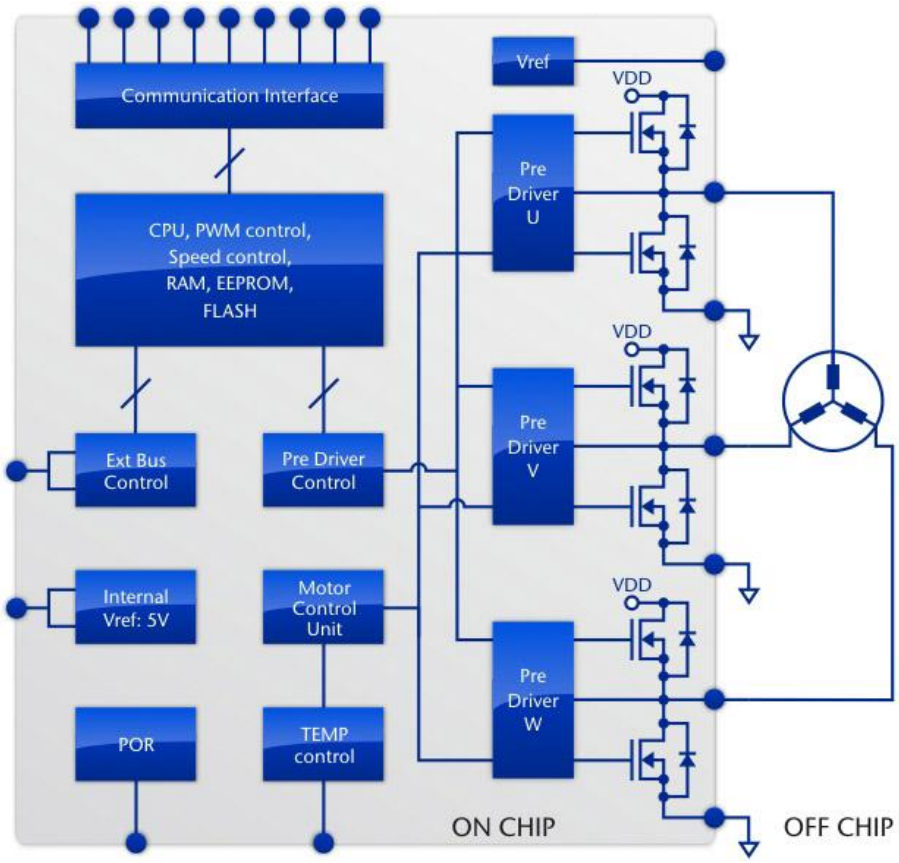
	Ni-MH	Li-ion
Napon članka	1,2V	4,0V
Radna temperatura	-20 do 50℃	-20 do 50℃
Samo-pražnjenje	15 – 25% mjesečno	2% mjesečno
Životni vijek	2 – 5 godina	10 godina
Broj ciklusa punjenja	300 – 600	1000+

3.2.3. Kontroler elektromotora

Kontroleri su elektronički uređaji koji dovode napajanje na električne motore. Kod BLDC motora oni uzimaju istosmjernu struju iz baterija, te uz pomoću mosta sa 6 snažnih MOSFET tranzistora tvore izmjenični trofazni napon koji se dovodi na namote motora. Promjenom frekvencije napona mijenja se brzina vrtnje motora. Pomoću mikrokontrolera kao srca kontrolera očitava se signal s papučice gasa dobiven pomoću potenciometra te signali o

poziciji rotora dobivenih pomoću Hallovih[9] sondi. Kontroler daje frekvenciju i snagu ovisno o dobivenim signalima. Kontroleri omogućavaju regenerativno kočenje što znači da se kočenje odvija pomoću motora koji prelazi u generatorski režim rada i dobivenom strujom nadopunjavaju akumulatore. Na ovaj način postiže se veća korisnost i veći doseg vozila. Principijelna shema BLDC kontrolera elektromotora prikazana je na slici 5.

Asinkroni kavezni motori su teže upravljivi od BLDC motora tj. program za upravljanje je puno složeniji. Na izlazu se također s MOSFET-ima generira trofazni napon koji mora biti sinusoidan. Ne postavljaju se Hallove sonde pozicije već se pozicija rotora određuje mjerenjem induciranog napona na statoru.



Slika 5. Principijelna shema kontrolera BLDC elektromotora [18]

[9] Hallova sonda – tanka pločica uzdužno protjecana upravljačkom strujom I, okomito izložena magnetskim silnicama [19]

3.3. Hibridna i električna vozila današnjice

Kao jedan od sinonima za hibridna vozila našeg doba uvijek se ističe Toyota Prius, koja se na tržištu pojavila 1997., a u proizvodnji je i danas u svojoj četvrtoj generaciji. Novi Prius koristi nikal-metalhidrid (NiMH) baterije za pohranu energije dok je pogon zasnovan na sinkronom elektromotoru s permanentnim magnetom, ostale karakteristike baterija i pogona prikazane su u tablici 2. [20]

Tablica 2. Karakteristike baterija i pogona Toyote Prius [20]

Dodatne informacije o bateriji	
Vrsta	Nikal-metalhidrid (NiMH)
Nominalni napon (V)	201,6
Broj modula baterije	28
Kapacitet baterije (Ah)	6,5
Maksimalna snaga (kW)	27
Dodatne informacije o motor – generatoru	
Vrsta	Sinkroni elektromotor s permanentnim magnetom
Maksimalni napon (V)	650
Maksimalna snaga (kW)	60
Maksimalni okretni moment (Nm)	207

Za primjer potpuno električnog vozila odabran je Model S američkog proizvođača Tesla Motors. Model S odabran je zato što je trenutno najprodavaniji potpuno električni automobil na svijetu te nudi vrhunske performanse, nešto što se obično ne veže uz električna vozila. Njegova proizvodnja i prodaja je započela 2012. godine. Model S dostupan je s pogonom na stražnje ili na sva četiri kotača, a pokreče ga jedan ili više vodom hlađenih elektromotora. Baterijski paket sačinjen je od litij-ionskih ćelija kapaciteta od 70 do 90 Ah, baterije su kontrolirane mikroprocesorima. Ugrađeni elektromotori su trofazni, četveropolni, indukcijski AC motori s bakrenim namotima. Pri kočenju elektromotori imaju mogućnost regeneracije baterija, a opremljeni su i pogonskim pretvaračem s varijabilnom frekvencijom [21].

4. PRIMJENA ELEKTRIČNOG VOZILA U KONCEPU „SMART CITY“

Kroz daljnji dio ovog završnog rada biti će detaljnije objašnjena primjena električnog vozila u konceptu „Smart city[10]“, odnosno u „car sharing“ modelu kao jednom od osnovnih značajki pametnog grada.

Električno vozilo, odnosno automobil u sklopu „car sharinga“, samo po sebi se nameće kao logičan izbor kada je u pitanju rješenje prometnog, odnosno transportnog problema u gradovima koji teže „Smart city“ konceptu. Razlog tome je ponajprije želja za smanjenjem emisije stakleničkih plinova, samim time i smoga, u velikim gradovima i užim gradskim središtima, tu se korištenje električnih vozila savršeno uklapa i predstavlja jedini logičan odabir. Kako je poznato električna vozila u svome radu ne ispuštaju štetne stakleničke plinove jer za pogon koriste isključivo elektromotore, za razliku od klasičnih vozila pokretanih motorima s unutarnjim sagorijevanjem. Još jedna od značajnih prednosti električnih vozila u odnosu na ona pokretana benzinskim ili dizelskim motorima je izrazito niska razina buke, odnosno niska razina zagađenja okoliša bukom. Razlog tomu je ne postojanje bučnog motora s unutarnjim sagorijevanjem i pripadajućeg ispušnog sustava koju su najveći onečišćivači okoliša bukom u današnjim gradovima. Jedino što stvara buku kod električnih vozila je kotrljanje kotača te zvuk otpora zraka, oba pri kretanju, što znači da je električno vozilo u mirovanju ni na koji način ne onečišćuje svoju okolinu. No, postoji i nedostatak „bešumnosti“ električnih vozila, a to je rizik koji ona predstavljaju za pješake koji ih ne mogu čuti.

Dodatne prednosti električnih vozila za njihovo korištenje unutar car sharing modela u pametnim gradovima su: jednostavnije i jeftinije održavanje, pouzdaniji motori i prateći sustavi, jeftinija i dostupnija energija u vidu električne struje i dr. Punjenje električnih vozila moguće je na bilo kojem mjestu i u bilo koje vrijeme, a stanice za brzo punjenje skraćuju vrijeme potrebno za punjenje baterija čineći time električna vozila još fleksibilnijima i dostupnijima širokom krugu korisnika.

[10] Koncept „Smart city“ – je koncept pametnoga grada koji svoje funkcioniranje bazira na umreženosti raznih sustava, informacijskog, prometnog, energetskog, i dr.

4.1. Smart City koncept

Koncept pametnoga grada (eng. Smart City concept) još nema definiciju s kojom se svi slažu te je i dalje širok pojam vezan uz različita gledišta s kojih se pristupa toj tematici. Kao je koncept pametnoga grada izuzetno širok pojam ne može se svesti samo na tehnološku komponentu, već mora uključiti i institucionalnu te društveno-kulturološku perspektivu. Procjena inteligencije, kao i procjena koliko neki grad odgovara konceptu pametnoga grada, ovisi o karakteristikama i specifičnosti samoga grada te je velikim dijelom uvjetovana gledištem onoga koji provodi tu procjenu. Svakako su važni mehanizmi mjerenja (kvalitativni i kvantitativni pokazatelji), ali je nužno tim pokazateljima obuhvatiti relevantne varijable te voditi računa o posebnostima i specifičnostima područja: društvenim, ekonomskim, kulturološkim i tehnološkim razmatranog područja. To je na određeni način povezano sa šest temeljnih elemenata inteligencije grada koje su 2007. definirali Giffinger i suradnici [22]:

1. gospodarstvo,
2. stanovništvo,
3. mobilnost,
4. upravljanje,
5. okoliš
6. i življenje ljudi.

Međutim, manje ili više svaki je od tih elemenata uvjetovan vrstom i kvalitetom tehnologija i rješenja koji su predloženi ili prihvaćeni za određeni grad. Odabir tehnologija ovisi o potrebnim resursima, a posebice korisnika resursa. Postoje tehnologije usmjerene samo na ograničene i elitne društvene skupine i one druge koje žele učiniti pametnim cijeli grad.

Načelno bi se mogao prihvatiti koncept pametnog grada koji podrazumijeva prostor na kojem je planirano savjesno korištenje ljudskim i prirodnim potencijalima i resursima, kojima se na odgovarajući način upravlja i povezuje s pomoću brojnih ICT-tehnologija koje su već dostupne. Time se stvaraju osnove za izgradnju ekosustava koji je u mogućnosti najbolje iskoristiti potencijale i resurse te pružiti povezane i sve inteligentnije usluge. Potporni stupovi na kojima se temelji razvoj neke pametne zajednice mnogostruke su: mobilnost, okoliš i energija, kvaliteta izgradnje i održavanja, gospodarstvo i mogućnost privlačenja talenata i ulaganja, sigurnost građana i infrastruktura gradova, sudjelovanje i uključenost građana.

Neizostavni su preduvjeti širenja povezanost i digitalizacija komunikacije i usluga. Tako ostvareni koncept pametnog grada ističe važnost ICT-a za stvaranje ekosustava grada. Tu se značajnom pokazuje i uloga električnih vozila kao jednih od nositelja koncepta pametnog grada kroz razne „car sharing“ modele i slične programe [22].

4.2. „Car sharing“ model

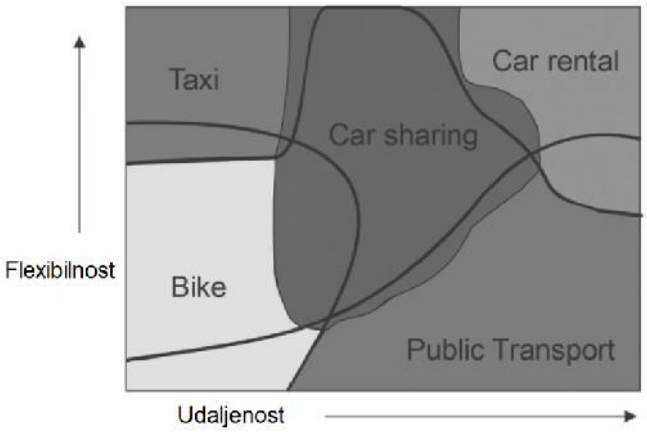
Car sharing je izraz koji se koristi za opisivanje programa ”otvorenih” pristupnih vozila koja se mogu ”dijeliti” te su u pravilu namijenjena za povremeni prijevoz u slučaju da je korisniku potreban automobil. Programe ovakvog tipa karakteriziraju sljedeća obilježja: organizirana i registrirana skupina sudionika, jedan ili više zajedničkih vozila, rezervacije vozila unaprijed, najam za kratke vremenske intervale (od jednog sata ili manje), olakšan pristup vozilu, financijska naknada za korištenje vozila i dr.

Car sharing se definira kao organizirana kratkoročna posudba automobila u najma po programu u kojem prethodno odobreni članovi imaju pristup različitim vozilima koja su strateški postavljena na nekoliko određenih lokacija. Glavne odlike car sharing sustava su da se automobil može koristiti kad god se želi i za koju god potrebu ga korisnik želi koristiti. Druga bitna odlika car sharing modela je članstvo. Car sharing se razlikuje od tradicionalnih rent-a-car usluga, s obzirom na svoje organizacijske aspekte:

- korisnici su članovi kluba, te im se unaprijed odobrava da budu primljeni u program;
- rezervacije, vožnja, te povratak vozila je samoposlužni;
- mjesta za vozila su raspoređena na cijelom području usluga, a često se nalaze i na mjestima s pristupom javnom prijevozu;
- car sharing vremenski okvir je 24h na dan, te nije ograničen na radno vrijeme;
- vozila se mogu iznajmiti po minuti i po satu, ne samo po danu, kao s uslugom najma automobila te;
- troškovi osiguranja i goriva, ponekad i parkinga su uvijek uključeni u cijenu

Car sharing model se može smatrati kao alternativa prometnom modelu koja nudi moguće rješenje u svijetu koji se mijenja ovisno o rastućoj ekonomiji i populaciji u kojima postoji sve veća potreba za putovanjima i mobilnosti. Car sharing prijevozni model može pomoći u smanjenju zagušenosti gradskih središta, dok će istovremeno osigurati visok stupanj

mobilnosti za urbane stanovnike. Car sharing ima svoje mjesto negdje između javnog prijevoza, pješačenja, taksi službe, privatnih vozila i biciklizma. Car sharing bi se trebalo promatrati ne kao samostojeći koncept, nego kao dio neke veće cjeline kako je prikazano slikom 6. Car sharing mogao bi u budućnosti predstavljati sponu koja povezuje sve tradicionalne oblike urbanog prijevoza uz to pružajući dodatnu brigu za okoliš korištenjem potpuno električnih ili hibridnih vozila. Dodavanjem car sharing modela i s time povezane mogućnosti prijevoza koje on u gradovima omogućava mogu se razvijati integrirani i multimodalni transportni sustavi, koji mogu ponuditi alternativu privatnim automobilima.



Slika 6. Car sharing u relaciji s drugim modelima transporta i prometa [23]

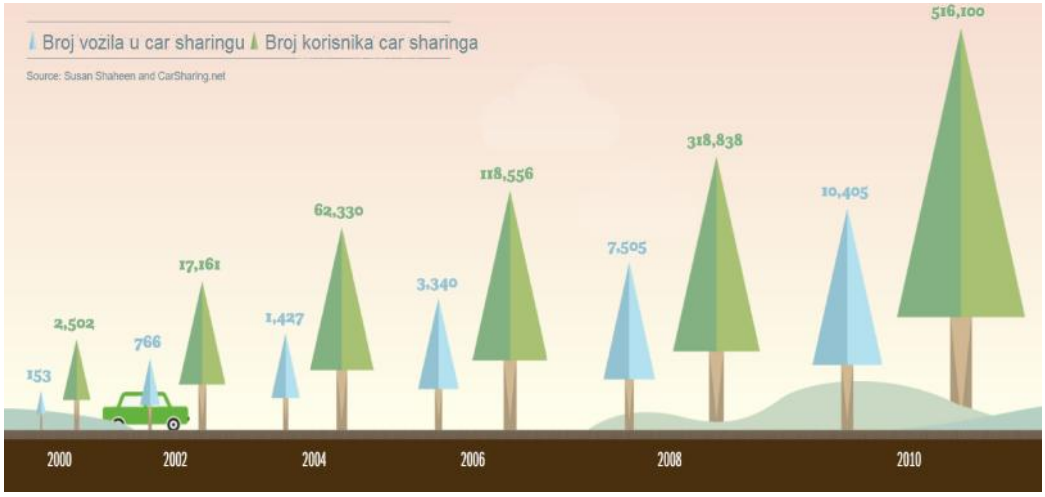
Kako bi zaživio ovakav alternativni način prijevoza kao prometni sustav, car sharing treba imati i druge opcije za ostvarivanje prijevoza (hodanje, javni prijevoz, rent-a - car, taxi) dostupne za potencijalne članove programa. Kao alternativa prometnom, car sharing sustavu pruža se mogućnost za srednje udaljenosti putovanja za koje postoji potreba za fleksibilnošću ili dostizanje destinacije koje nisu obuhvaćene javnim prijevozom [23].

4.2.1. Funkcioniranje car sharing modela u svijetu

U svijetu su se kroz zadnjih nekoliko godina isprofilirala dva modela car sharinga, prvi je baziran na principu tražim/nudim prijevoz, što uključuje isključivo privatne osobe koje sa svojim privatnim vozilima nude prijevoz drugima putem određenih web ili mobilnih aplikacija, ovakav tip car sharinga popularniji je kod dužih putovanja. Drugi model je ono što većina i smatra car sharingom, a to je pružanje usluge kratkoročnog najma vozila. Uslugu u tom slučaju pruža specijalizirana kompanija koja posjeduje određenu flotu vozila, parkirališnih mjesta i/ili punionica, a korisnik samo treba posjedovati člansku iskaznicu i

dovoljno sredstava kako bi se mogao koristiti uslugom car sharinga. U tom slučaju korisnik se samostalno vozi i sam bira lokaciju preuzimanja i ostavljanja vozila te za to plača određenu financijsku naknadu po unaprijed definiranim tarifama.

Temeljem oba modela car sharinga, a poglavito drugog, samostalnog, uz pomoć brojnih kompanija koje pružaju tu uslugu, neke od najpoznatijih i najpopularnijih su: Zipcar, MINT, City CarShare, I-GO Cars i dr. 2009. godine po prvi puta u povijesti u Sjedinjenim Američkim državama dogodilo se da je broj ljudi koji su se riješili svojih vozila prerastao broj ljudi koji su se odlučili za kupnju novog vozila. Sve to pratio je porast broja korisnika car sharing modela kako prikazuje slika 7.



Slika 7. Porast popularnosti car sharinga u 2010-tim godinama [24]

Slikom 7. prikazan je porast broja vozila te porast broja korisnika car sharing modela kroz prošlo desetljeće na području Sjedinjenih Američkih država. Vidljiv je značajan porast kako broja vozila tako i broja korisnika, broj vozila porastao je sa svega 153 vozila 2000. godine na skoro 10 500 vozila u 2010. godini. što predstavlja porast od 6 800% u periodu od jednog desetljeća. Dok je porast broja korisnika još i izraženiji s 2 500 korisnika 2000. godine na više od 516 000 korisnika u 2010. godini što je porast od 20 640% u istom periodu. Same brojke dovoljan su dokaz o popularnosti i prihvaćenosti car sharing načina prijevoza u svijetu.

U prilog svemu spomenutom ide i ekološka komponenta car sharinga, bez obzira dali se koriste potpuno električna, hibridna ili klasična vozila. Po nekim istraživanjima jedno vozilo dostupno kroz car sharing model zamjenjuje čak petnaest privatnih vozila. Dok korisnici car sharinga koriste vozila iz flote do 31% manje nego kad bi se radilo o njihovim privatnim vozilima, zato što se više koriste biciklima, javnim prijevozom, taxijem te češće pješače.

4.2.2. Car sharing u Hrvatskoj [25]

Mogućnost korištenja usluge car sharinga prvi put se u Hrvatskoj pojavila prije svega nekoliko mjeseci, u lipnju 2016. godine, u glavnom gradu Zagrebu. Uslugu ne na tržištu ponudila tvrtka Urban Mobility pod nazivom Spin City, kroz zagrebački car sharing je dostupno 30 vozila od toga 10 potpuno električnih, čime je i kroz ovaj primjer vidljiva popularnost i široka primjena električnih vozila u pametnim gradovima budućnosti.

Korištenje uslugom krajnje je jednostavno te zahtijeva svega dvije stvari, važeću vozačku dozvolu te instaliranu Spin City aplikaciju za pametne telefone. Svako korištenje usluge može se podijeliti u četiri koraka:

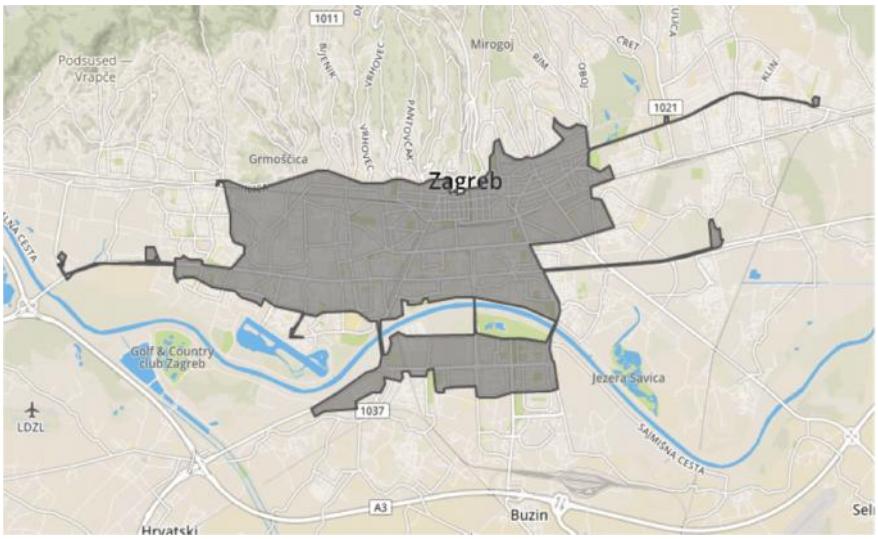
1.) Pronaći vozilo putem aplikacije – najbliže slobodno vozilo potrebno je pronaći putem aplikacije na pametnom telefonu. Dostupna vozila prikazana su na karti te se mogu rezervirati samo jednim klikom, rezervacija traje 15 minuta, druga mogućnost je jednostavno ući u slobodno vozilo na parkirališnome mjestu.

2.) Ući u vozilo – s pomoću aplikacije na pametnome telefonu ili tabletu vozilo se otključava samo jednim pritiskom. Ključevi od automobila i putno računalo nalaze se u pretincu za rukavice. Potrebno je unijeti PIN putem putnog računala i odgovoriti na nekoliko pitanja. Potom izvaditi ključ iz putnog računala i vozilo je spremno za pokretanje.

3.) Stanka – ako putovanje nije završilo i vožnja će se uskoro nastaviti, vozilo se zaključa ključem. Tako vozilo ostaje rezervirano samo za korisnika koliko god je to potrebno.

4.) Kraj puta – potrebno je ugasiti automobil i na putnom računalu odabrati opciju “završi moju vožnju”. Nakon što se izađe iz automobila, potrebno ga je zaključati s pomoću Spin City aplikacije ili članske kartice. Kada se čuje zvuk zaključavanja vrata ili je vidljiv signal žmigavcima, vozilo je zaključano i putovanje je završilo.

Spin City koncept u potpunosti je prilagođen dinamičnom životu u gradu. Vozila se mogu koristiti bilo kada, bilo gdje i koliko god je to korisniku potrebno. U cijenu je uključeno sve: korištenje vozila, gorivo, parkiranje, osiguranje i održavanje. Parkiranje je besplatno za sve korisnike Spin City prijevoza, a parking je osiguran na svim javnim parkiralištima na području grada Zagreba. Zona dostupnosti Spin City usluge prikazana je na slici 8. u nastavku.



Slika 8. Prikaz Spin City zone za područje grada Zagreba [25]

Spin City vozila nalaze se unutar Spin City zone – posebno definiranog područja unutar kojeg se preuzimaju i ostavljaju vozila. Naime, svako korištenje usluge mora završiti unutar te zone ili korisnik snosi dodatne troškove. U sklopu zone na području grada Zagreba biti će desetak parkirališnih mjesta namijenjenih samo car sharing usluzi. Na tim mjestima korisnik uvijek može slobodno parkirati vozilo. Lokacije tih parkirališnih mjesta su:

- Ulica Milana Amruša kod k.br. 4
- Ulica Pavla Šubića kod k.br. 65
- Trg kralja Tomislava (Glavni kolodvor)
- Trg maršala Tita – HNK (zapad)
- Trg Stjepana Radića 1
- Radnička cesta kod k.br. 80 (Zagreb Tower)
- Avenija Dubrovnik 15 (Zagrebački Velesajam)
- Park Stara Trešnjevka 2
- Strojarska cesta kod k.br 18 (VMD centar)

U nastavku u Tablici 3. prikazan je dio cjenika za uslugu Spin City kako bi se stekao dojam o dostupnosti usluge u hrvatskim prilikama.

Tablica 3. Cjenik usluge Spin City [25]

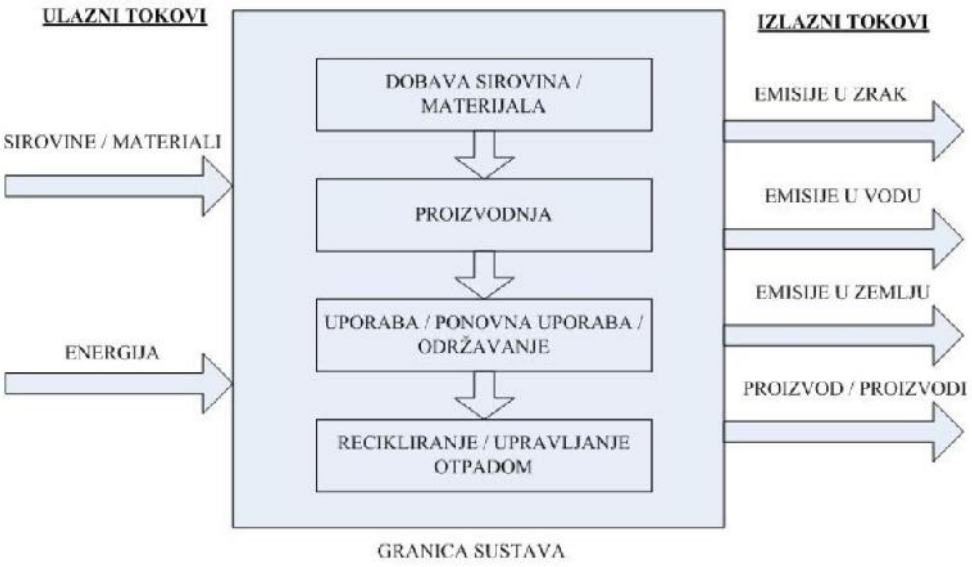
NAZIV USLUGE	CIJENA USLUGE	OPIS USLUGE
Registracijska naknada	150,00 kn (120,00 kn) (jednokratno)	50 minuta vožnje gratis
Rezervacija	0,95 kn/min (0,76 kn/min) (nakon prvih 15 minuta)	Prvih 15 minuta rezervacije je besplatno.
Vožnja	2,62 kn/min (2,10 kn/min)	
Stanka	1,05 kn/min (0,84 kn/min)	
Kilometraža	1,95 kn/km (1,56 kn/km)	
Paketi mjesečne pretplate		
Spin ‘n Save 60	129,00 kn/mj (103,20 kn/mj)	Uključeno 60 minuta vožnje mjesečno.
Spin ‘n Save 120	239,00 kn/mj (191,20 kn/mj)	Uključeno 120 minuta vožnje mjesečno.
Spin ‘n Save 240	459,00 kn/mj (367,20 kn/mj)	Uključeno 240 minuta vožnje mjesečno.
Prepaid paketi		
Spin Prepaid 290	599 kn (479,20 kn) (jednokratno)	Uključeno 290 minuta vožnje.
Spin Prepaid 505	999,00 (799,20kn) (jednokratno)	Uključeno 505 minuta vožnje.
Paketi na sat		
Spin na sat 8	349,00 kn (279,20 kn)	Uključeno 8 sati korištenja vozila i 150 kilometara
Spin na sat 24	499,00 kn (399,20 kn)	Uključeno 24 sata korištenja vozila i 200 kilometara

Kao što je vidljivo iz Tablice 3. postoje različiti modeli korištenja usluge, pa tako i naplate. Zanimljivo je da su se pružatelji usluge odlučili za naplatu po dva modela istovremeno, po kilometarskom i po vremenskom, na taj način dolazi se do prosječne cijene dnevnog putovanja u iznosu od 40,00 – 50,00 kn. Navedena cijena mogla bi predstavljati određen problem za većinu građana Hrvatske s obzirom na visinu redovnih primanja kao i u odnosu na cijenu i dostupnost taxi usluge.

5. PROCJENA ŽIVOTNOG CIKLUSA PROIZVODA – LCA [26]

Procjena životnog ciklusa proizvoda (u nastavku LCA) je skup tehnika kombiniranih tako da tvore objektivnu i sistematičnu metodu za identificiranje, klasificiranje i kvantificiranje razine, odnosno stupnja zagađenja, utjecaja na okoliš, kao i utroška materijalnih i energetskih resursa vezanih za neki proizvod, proces ili aktivnost od same ideje pa sve do kraja životnog ciklusa, reciklaže, odnosno oporabe. Pojednostavljeno se može reći da je LCA metoda koja prati ekološki utjecaj određenog proizvoda „od kolijevke do groba“.

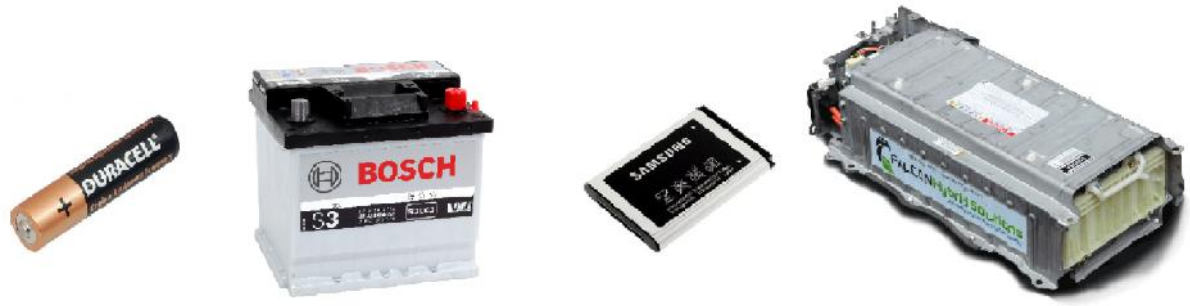
Ciklus ˝od kolijevke do groba˝ započinje ekstrakcijom sirovina iz okoliša, a završava povratom sirovina u okoliš. Pomoću LCA metode procjenjuje se utjecaj na okoliš u svim fazama životnog ciklusa, i to s interakcijskog gledišta. To znači da su sve faze u međusobnoj ovisnosti, tj. utjecajem na jednu fazu utječe se i na ostale. Tako gledajući, kvalitetnim rješenjem u konstrukcijskoj fazi proizvoda, dodatno u tehnološkoj pripremi, moguće je pozitivno utjecati na okolišne čimbenike u svim ostalim fazama. Dodatno valja naglasiti ono što se često zaboravi u razmatranju nekog proizvoda, a to je energija i transport. Naime, između svake od navedenih faza, u najvećem broju slučajeva, postoji neki oblik transporta, koji također ima utjecaj na okoliš, i razmatra se zasebno. Također u svakoj navedenoj fazi postoji i potrošnja energije, te se i ona treba uzeti u obzir kod energetske analize životnog ciklusa proizvoda. Na slici 9. nalazi se detaljan prikaz faza životnog ciklusa proizvoda [26].



Slika 9. Faze životnog ciklusa proizvoda s pripadajućim ulaznim i izlaznim tokovima [25]

Kako živimo u užurbanom potrošačkom društvu koje ima sve veća očekivanja od proizvoda, a time i od proizvođača, postoje različiti načini pružanja neke usluge. U takvom sustavu proizvod više nije sam sebi svrha, već mu je šira uloga pružiti traženu uslugu. Kako bi bilo moguće usporediti različite načine pružanja te usluge, potrebno ju je prethodno definirati i po mogućnosti kvantificirati. Taj postupak naziva se: određivanje funkcijske jedinice proizvoda. Funkcijska jedinica proizvoda zapravo je referentan parametar kod LCA analize. Koristi se kod razmatranja alternativnih rješenja, na način da sve osim funkcijske jedinice proizvoda može biti varijabilno [26].

Na slici 10. dan je primjer kako različiti oblici proizvoda mogu ispunjavati istu funkciju. U ovom slučaju funkcija proizvoda je pohrana električne energije na određeni period. Neke od izvedbi baterija prikazane slikom 10. su: baterija za kućnu upotrebu, automobilski akumulator, baterija za mobilne telefone te baterija „plug-in“ hibridnog vozila. Kod odluke koji tip proizvoda proizvoditi tvrtka može koristiti LCA metodu kako bi odabrala najpovoljnije rješenje s obzirom na okoliš, kako bi to jednim djelom mogli iskoristiti u promidžbene svrhe. Naravno, treba uzeti u obzir i konkurentnost odabrane varijante, odnosno troškove proizvodnje, praktičnost, potrebe korisnika, širinu i zasićenost tržišta i dr. Međutim, korištenje LCA u odabiru rješenja se može itekako iskoristiti u marketinške svrhe, što može pružiti određenu prednost pred konkurentima u segmentu.



a) baterija za kućnu uporabu | b) automobilski akumulator | c) baterija za mobilne telefone | d) baterija „plug-in“ hibridnog vozila

Slika 10. Različiti tipovi baterija

Neki proizvod ima utjecaj na okoliš samo ako postoji razmjena materije i/ili energije između proizvoda i okoliša. Ukoliko postoji takva razmjena, kaže se da je proizvod u nekom procesu. Prema tome, jedini način da se napravi procjena utjecaja na okoliš nekog proizvoda jest da se napravi analiza cjelokupnog životnog ciklusa proizvoda. Čak i najjednostavniji proizvodi ulaze u relativno velik broj procesa, od dobave sirovine, proizvodnje, uporabe, pa

sve do raspadanja na otpadu ili recikliranja. LCA metoda integrira utjecaje na okoliš svih procesa u koje ulazi proizvod tijekom životnog ciklusa. Također treba imati u vidu da proizvodni sustav ima svoj glavni tok, koji rezultira proizvodom, ali i pomoćne tokove, koji ne ulaze izravno u proizvod, ali su neophodni za proizvodnju. Ti pomoćni tokovi mogu uključivati gorivo, tehnološku paru i slično, a za okoliš mogu biti jednako važni kao i glavni tok.

Područje primjene LCA metode je vrlo široko. Načelno, može se primijeniti kao potpora prilikom odlučivanja ili kao alat za obradu podataka, i to ne samo na razini same proizvodnje, već i na razini cijele korporacije, pa čak i do političke razine [26].

5.1. Faze provođenja LCA metode [26]

Kroz ovo poglavlje biti će dan opis pojedinih faza u LCA metodi. Međutim, neće biti opisane sve pojedinosti, jer one ovise o konkretnom slučaju analize. Stoga će u nastavku ovog završnog rada biti opisana detaljna analiza na konkretnom slučaju. Kako u različitim izvorima postoje razlike u opisu provedbe pojedinih faza LCA metode, opis faza koji slijedi interpretacija je preuzetog iz navedene literature.

5.1.1. ODREĐIVANJE SVRHE I OPSEGA PROVEDBE LCA ANALIZE („Goal and scope definition“) [26]

Svrha

Prvi korak u provedbi LCA analize je definiranje njene svrhe, odnosno cilja provedbe. Tim činom se jasno definira za koje slučajeve se provedena analiza smije, a za koje ne smije koristiti. Svrha provedbe analize će metodološki odrediti kasnije faze, stoga je potrebno kvalitetno definirati svrhu analize kako bi se izbjegle eventualne pogrešne interpretacije rezultata. Svakako je u prezentaciji provedene analize obavezno navesti svrhu zbog ispravne i nedvojbene interpretacije rezultata.

Stoga, na početku LCA metode treba odgovoriti na sljedeća pitanja:

- Koja je osnovna namjena provedbe LCA analize?
- Za što će se rezultati analize koristiti?
- Koji su konkretni razlozi koji su nas potakli na LCA analizu?
- Koje se odluke mogu donijeti na temelju provedene analize?
- Do kojih će konkretno doći promjena, koje su izravno vezane na odluke koje se temelje na LCA analizi?

Često se u ovoj fazi definira kakav će se tip LCA metode provesti, tip LCA ovisi o tome s kojom svrhom ju provodimo, a može biti:

- DESKRIPTIVNA, odnosno napravljena kao pregled postojećeg stanja. Ova vrsta analize se najčešće koristi na političkoj razini, kao osnova za odluke o obavezama i/ili pravima određenih subjekata, a ponekad služi samo za senzibiliziranje javnosti.
- ORIJENTIRANA KA PROMJENAMA; Ova vrsta analize se uglavnom koristi na proizvodnoj razini, iz razloga što je upravo proizvođač odgovoran za svoj proizvod, a promjene su mu u interesu iz raznih razloga, pretežito financijskih.

<u>Opseg</u>

Zadaća definicije opsega analize jest identificiranje predmeta analize, kao i definiranje granica koje će obuhvatiti sve ono što je bitno, odnosno ono što je definirano svrhom analize.

U ovoj fazi potrebno je definirati sljedeće:

1.) PROIZVODNI SUSTAV KOJI JE PREDMET ANALIZE;

Proizvodni sustav podrazumijeva sve procese kroz koje prolazi proizvod kroz svoj životni ciklus, počevši od ekstrakcije sirovina, pa sve do njegovog odlaganja na otpad ili recikliranja Čak i najjednostavniji proizvod prolazi kroz relativno velik broj procesa. Međutim, rijetko će se u analizi obuhvatiti cijeli proizvodni sustav, već se postavljaju granice sustava s obzirom na specifične potrebe analize.

2.) FUNKCIJSKU JEDINICU;

Funkcijska jedinica je već definirana u uvodu ovoga poglavlja kao referentan parametar LCA metode, a određuje ga usluga koju pruža neki proizvod. Funkcijska jedinica ustvari predstavlja kvantifikaciju usluge koju proizvod pruža, što je potrebno da bi se osigurala usporedivost rezultata analize, te svakako mora sadržati vrijeme trajanja usluge. Također postoji i kvalitativna komponenta unutar funkcijske jedinice, koja određuje razinu kvalitete usluge, a služi za usporedbu s proizvodom slične razine kvalitete.

3.) IZBOR REFERENTNOG PROIZVODA;

U velikoj većini slučajeva novi proizvod predstavlja tek mali napredak u odnosu na postojeći proizvod. To znači da će velik dio životnog ciklusa novog proizvoda, (proizvoda u

nastajanju) već biti poznat preko postojećih. Na taj je način moguće predvidjeti velik dio (procjenjuje se između 80 i 90%) utjecaja na okoliš novog proizvoda koristeći već postojeće iskustvo.

Načelno postoje dvije vrste referenci: referentna usluga (ili referentni proizvod), koja uzima gotovo rješenje (postojeći proizvod) koji ima istu funkciju, i referentni podaci, ako ne postoji gotovo rješenje koje se može uzeti kao referenca, uzimaju se kompatibilni dijelovi iz nekih drugih sustava, a koji mogu predstavljati utjecaj na okoliš proizvoda u nastajanju.

4.) GRANICE SUSTAVA;

Granice sustava definiraju procese u koje ulazi promatrani proizvod, ali samo one koji će biti obuhvaćeni analizom. U idealnom slučaju granice sustava biti će postavljene tako da su ulazi i izlazi kroz granicu sustava najprimitivniji mogući elementi (na primjer, ulaz u proizvodnju vučene cijevi bila bi željezna ruda). Međutim, ne treba trošiti resurse na kvantifikaciju ulaza i izlaza koji ionako neće znatnije utjecati na rezultat analize.

Izbor granica sustava uvelike ovisi o svrsi analize, namjeni, korisnicima, postavljenim pretpostavkama, raspoloživosti podataka, ograničenjima u troškovima, te kriterijima odluka o značajnosti određenih procesa. Izbor granica sustava je presudan za stupanj pouzdanosti rezultata analize. Definirani sustav se najčešće prikazuje pomoću dijagrama toka.

Kod postavljanja granica sustava potrebno je uzeti u obzir sljedeće:

- Dobava sirovina,
- Ulazi i izlazi unutar proizvodnih procesa,
- Distribucija/transport,
- Proizvodnja i uporaba energenata (goriva, električna energija, toplina…),
- Uporaba i održavanje proizvoda,
- Odlaganje otpada nastalog prilikom proizvodnje i iskorištenih proizvoda,
- Oporaba iskorištenih proizvoda (što uključuje ponovnu uporabu, recikliranje materijala ili korištenje za proizvodnju energije),
- Proizvodnja pomoćnih materijala (alati, naprave, pomoćna sredstva u transportu i sl.),
- Proizvodnja, održavanje i rastavljanje kapitalne opreme (strojeva, proizvodnih linija i sl.),
- Dodatne operacije, kao što su grijanje i osvjetljenje proizvodnog pogona i sl.

5.) ALOKACIJSKE PROCEDURE;

Kroz proizvodnju nekog proizvoda vrlo često se javljaju procesi koji doprinose ostvarivanju više različitih funkcija proizvoda. Pitanje koje se postavlja jest: kojoj funkciji, procesu ili podprocesu promatranog proizvoda valja dodijeliti određeni utjecaj na okoliš, proizašao kao posljedica spomenutog procesa (primjer – termoelektrana proizvodi i toplinu i električnu energiju sagorijevajući ugljen; koliki udio u potrošnji ugljena treba pripisati proizvodnji topline, a koliki proizvodnji električne energije?).

U ovoj fazi analize se utvrđuje potreba i metodologija provođenja alokacijskih procedura, dok se sama procedura provodi u fazi popisivanja podataka. Stoga će detaljniji opis tih procedura biti dan u poglavlju ˝5.1.2. Faza popisivanja i analiziranja podataka˝.

6.) TIPOVE I IZVORE PODATAKA;

Podatci potrebni za provedbu LCA analize mogu biti prikupljeni u proizvodnim pogonima koji su povezani s proizvodnjom promatranog proizvoda (naravno, unutar definiranih granica sustava), ili mogu biti nabavljeni ili izračunati na neki drugi način. U praksi, podatci mogu biti mješavina izmjera, izračunatih ili procijenjenih veličina. Potrebno je također razlikovati ulazne i izlazne veličine.

7.) ZAHTJEVI ZA KVALITETOM PODATAKA;

Zahtjevi za kvalitetom podataka moraju odgovarati definiranoj svrsi analize, te bi trebali obuhvaćati sljedeće:

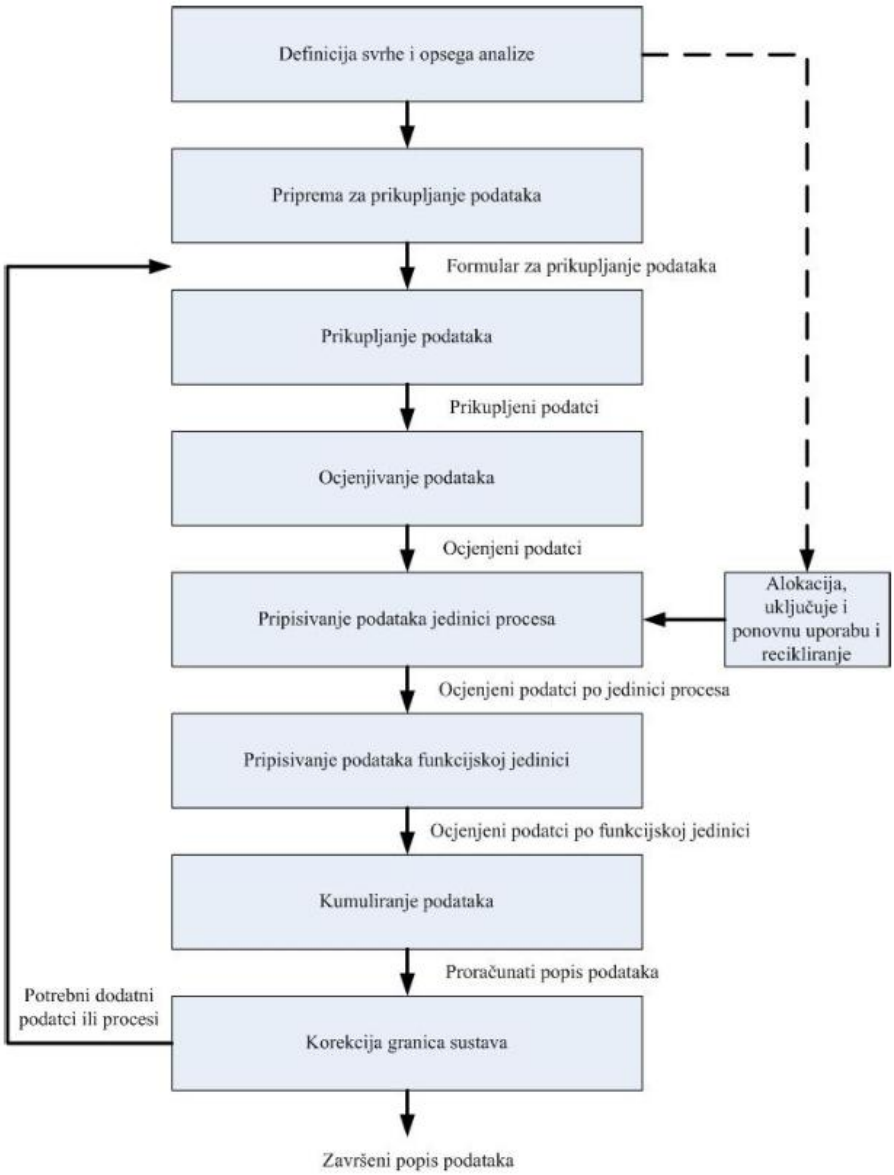
- Vremenski okviri: starost podataka, minimalno vrijeme prikupljanja podataka i sl.
- Geografski okviri: geografsko područje na kojem trebaju biti prikupljeni podatci kako bi se zadovoljila svrha analize.
- Tehnološki okviri: korištenje određene tehnologije ili kombinacije tehnologija
- Preciznost: po mogućnosti statistički obraditi podatke
- Kompletnost: npr. koji je postotak nekog protoka obuhvaćen mjerenjem
- Reprezentativnost: procjena koliko dobro zapravo prikupljeni podatci opisuju postojeće stanje
- Izvori podataka
- Pouzdanost: potrebno je navest jesu li podatci nastali na temelju nekog modela, pretpostavke i sl.

8.) POTREBA ZA KRITIČKOM REVIZIJOM ANALIZE;

U fazi definiranja opsega analize potrebno je odrediti i da li je potrebna kritička revizija analize, te ako da, tko je treba provesti.

5.1.2. FAZA PRIKUPLJANJA I ANALIZE PODATAKA (´Life cycle inventory analysis – LCI´)

Kroz ovu fazu LCA metode obavlja se prikupljanje, sortiranje i analiza prikupljenih podataka. Ova faza kao i sve ostale, ovisi o definiciji svrhe i opsega analize, te je približno prikazana dijagramom toka kako je vidljivo na slici 11. Treba napomenuti kako je postupak provođenja ove faze iterativan, te je prikazani postupak na slici samo pokazni primjer.



Slika 11. Pokazni dijagram toka prikupljanja i analize podataka [26]

Cilj je ove faze prikupiti sve ekološki relevantne podatke unutar definiranih granica sustava. To uključuje:

- Prikupljanje podataka i određivanje jedinice procesa,
- Popis izmjena tvari i energije s okolišem unutar proizvodnog sustava ograničenog granicama sustava,
- Prezentacija podataka na transparentan način.

Prikupljanje podataka

Prikupljanje podataka je aktivnost koja zahtjeva najviše vremena u sklopu provođenja LCA metode, što naravno ovisi o eventualnom postojanju već gotovih baza podataka i dostupnim računalnim programima. Kako je već ranije istaknuto, podatci mogu biti izmjereni, izračunati ili procijenjeni, a njihov karakter može biti kvalitativan ili kvantitativan. Izvori podataka načelno se dijele u četiri kategorije:

- Elektronske baze podataka – su već postojeće baze podataka, koje su najčešće sastavni dio računalnih programa za LCA analizu. Baze podataka nastaju na temelju već provedenih analiza, te se preporučuje njihovo korištenje (ukoliko postoje podatci unutar baze koji su kompatibilni s promatranim procesom) zbog uštede u vremenu i troškovima.
- Podatci iz literature – kao što su na primjer, znanstveni radovi, postojeći LCA izvještaji i slično
- Podatci dobiveni od proizvođača, laboratorija i slično
- Izmjereni i/ili izračunati podatci; korištenje ove vrste podataka će dati najtočnije rezultate, ali zahtjeva najviše vremena i ulaganja

Ulazne podatke je relativno lako odrediti, to su uglavnom potrošnja energije i materijala, te ih je moguće pronaći u već postojećoj poslovnoj dokumentaciji. Međutim, kod određivanja izlaznih podataka (kao što su emisije u zrak, vodu i zemlju) potrebno je uložiti puno više truda.

Izračun podataka

Proizvodni sustav je suma pojedinih procesa. Svaki proces ima svoje ulazne i izlazne veličine, za koje možemo pretpostaviti da su poznate. Često se podatci za pojedine procese koriste kako bi se došlo do ukupnih ulaznih veličina (potrošnje resursa), ili ukupnih izlaznih veličina (emisije u zrak, vodu, zemlju, ili radnu okolinu). Taj proces možemo nazvati

sastavljanje, a krajnje ulazne i izlazne veličine (koji presijecaju granice sustava) možemo nazvati terminalnim izmjenama.

Ovaj postupak je moguće napraviti za cijeli proizvodni sustav, pojedinu fazu životnog ciklusa, određeni pod-sklop proizvoda i slično. Vrlo je važno za razvoj proizvoda da se pregledno prikaže doprinos pojedinih procesa u okolišnoj izmjeni tvari i energije, kako bi se što lakše identificirale kritične točke u životnom ciklusu proizvoda.

Alokacija

Kako je već navedeno, alokacija je pridruživanje pojedinih utjecaja na okoliš pojedinom procesu. Alokacija predstavlja jedan od većih problema u LCA analizi. Postoje mnogi slučajevi kada ulazne veličine u neki proizvodni sustav potječu iz drugog proizvodnog sustava (ili više njih), kao i kad se izlazne veličine iz proizvodnog sustava nastavljaju u drugom proizvodnom sustavu (ili više njih). To znači da neki procesi spadaju u više proizvodnih sustava, te se utjecaj na okoliš tih procesa treba podijeliti između usluga koje pružaju proizvodi iz tih sustava.

Uzmimo, primjerice proces rafiniranja sirove nafte. U tom procesu nastaje više proizvoda (benzin, LPG, razna maziva i dr.). Kako raspodijeliti utjecaj na okoliš između navedenih proizvoda, a koji je nastao u zajedničkim procesima? Naravno provesti raspodjelu utjecaja je nužno iz razloga što kvalitetne usporedbe utjecaja na okoliš istovrsni proizvoda.

Načelno postoje dva načina na koji proces može doprinijeti nastanku više od jednog jedinstvenog utjecaja na okoliš, a to su:

- U slučaju da više proizvoda nastaje iz istog procesa,
- U slučaju oporabe materijala ili pod-sklopa proizvoda.

Ovaj se problem rješava, prema normi ISO 14044, na sljedeća tri načina: [27]

1) Kad god je to moguće, nastojati izbjeći alokaciju; Pokušati podijeliti sporne procese na više podprocesa, ili prilagoditi granice sustava da se izbjegne alokacija.
2) Kada nije moguće izbjeći alokaciju, a proizvodi nastali iz zajedničkih procesa se mogu okarakterizirati istom funkcijskom jedinicom, utjecaj treba podijeliti u omjeru proizvedene funkcijske jedinice. Na primjer, u već navedenom primjeru rafiniranja nafte, proizvodi su i loživo ulje i mazut, koji služe kao energenti koji se koriste za grijanje, ali imaju različitu ogrjevnu vrijednost. U tom slučaju utjecaj na okoliš valja podijeliti po omjeru energije koju daju ta dva energenta prilikom izgaranja. Drugim riječima, pretpostavimo da u jedinici vremena kroz promatrani proces prođe određena količina

nafte. To će u konačnosti rezultirati količinom loživog ulja u vrijednosti od 60 kJ i mazuta u vrijednosti od 40 kJ. Stoga se od ukupnog utjecaja u tom procesa, 60% pripisuje loživom ulju, a 40% mazutu.

3) Ako se proizvodi ne mogu okarakterizirati zajedničkom funkcijskom jedinicom, valja pronaći neku drugu osnovu za raspodjelu. Na primjer, osnova za raspodjelu može biti masa proizvoda ili ekonomska vrijednost.

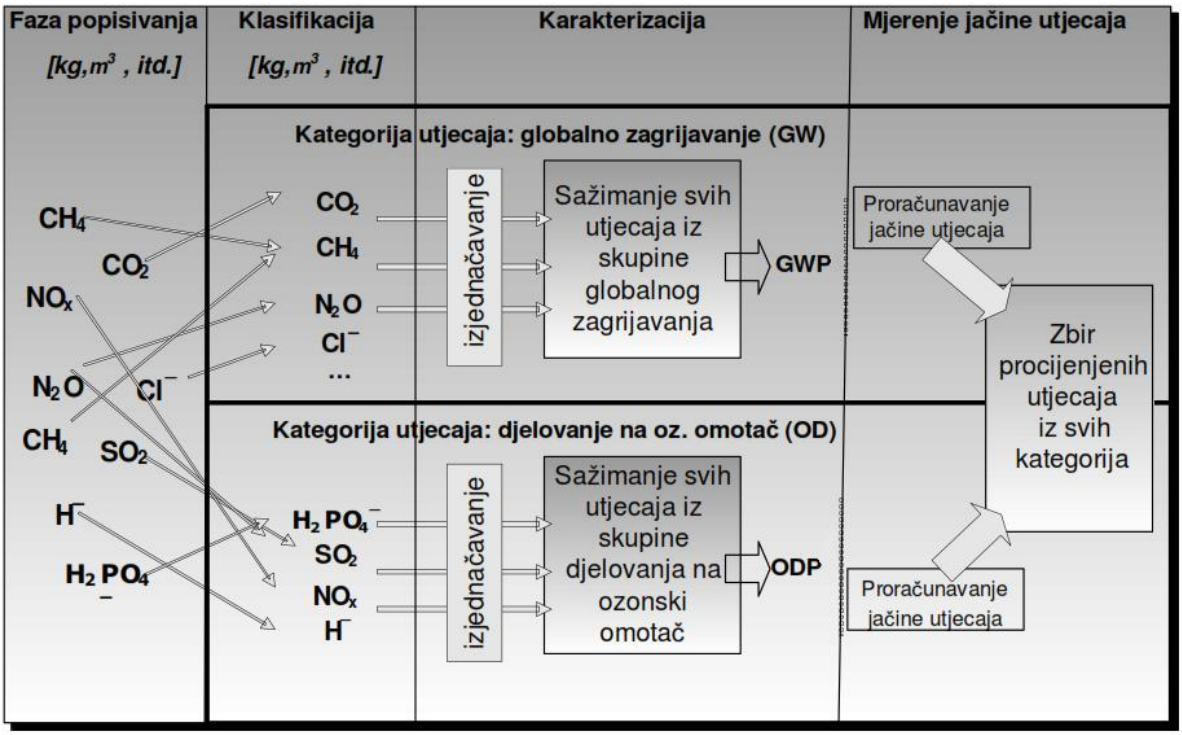
5.1.3. ODREĐIVANJE UTJECAJA NA OKOLIŠ (˝Life cycle impact assessment – LCIA˝)

Kroz ovu fazu provođenja LCA metode određuju se potencijalni utjecaji na okoliš, kao i na ljudsko zdravlje, i to na temelju podataka o potrošnji resursa i emisija u okoliš, dobivenih u prethodnoj fazi. Pod utjecajem se podrazumijeva, osim štetnih emisija, i osiromašenje prirodnih resursa. Ova faza u analizi pokušava dati vezu između proizvoda ili procesa i njihovog potencijalnog utjecaja na okoliš. Na primjer, kakav utjecaj ima 6 000 tona CO_2 ili 5 000 tona metana ispuštenih u atmosferu? Koji slučaj je gori? Koji je njihov potencijalni utjecaj na nastanak smoga? Koji je njihov potencijalni utjecaj na globalno zatopljenje?

Dakle, LCIA prikazuje usporedbu potencijalnih utjecaja na okoliš za različita alternativna rješenja. Procedura provođenja LCIA faze se često definira kroz sljedećih sedam koraka:

- Izbor i definiranje kategorija utjecaja; identifikacija relevantnih kategorija utjecaja na okoliš (npr., globalno zatopljenje, zakiseljavanje tla i sl.),
- Klasifikacija; pripisivanje rezultata iz faze LCI kategorijama utjecaja (npr., pripisivanje emisije ugljik-dioksida globalnom zatopljenju),
- Karakterizacija; modeliranje podataka dobivenih u LCI fazi unutar kategorija utjecaja pomoću konverzijskih faktora (npr., određivanje kvantitativne vrijednosti potencijalnog utjecaja ugljik-dioksida na globalno zatopljenje),
- Normalizacija; izražavanje potencijalnih utjecaja na način da se mogu uspoređivati (npr., usporedba potencijalnog utjecaja na globalno zatopljenje ugljik-dioksida i metana.),
- Grupiranje; sortiranje utjecaja na okoliš (npr., sortiranje utjecaja na geografskoj osnovi: lokalno, regionalno ili globalno),
- Ocjenjivanje; određivanje najznačajnijih potencijalnih utjecaja na okoliš,
- Elaboriranje rezultata LCIA faze.

Prema normi ISO 14042, prva tri koraka su obavezni prilikom provođenja LCIA, dok su ostali proizvoljni, te njihovo provođenje ovisi o definiciji svrhe i opsega analize. Pojednostavljena procedura za provođenje LCIA faze u LCA analizi prikazana je na slici 12.



Slika 12. Pojednostavljena procedura za određivanje utjecaja na okoliš [26]

Slikom 12. prikazana je pojednostavljena procedura za određivanje utjecaja na okoliš, pri tomu je utjecaj na okoliš podijeljen u dvije kategorije, globalno zagrijavanje (GW – eng. Global Warming) i djelovanje na ozonski omotač (OD – eng. Ozone Depletion)

5.1.4. INTERPRETACIJA (˝Life cycle interpretation˝)

Ova faza u LCA analizi uključuje skup metoda za identificiranje, kvantificiranje, provjeravanje i ocjenjivanje informacija dobivenih u prethodne dvije faze (LCI i LCIA). Iz svih dobivenih informacija potrebno je generirati kvalitetne zaključke.

Prema normi ISO 14043, faza interpretacije se fokusira na sljedeće:

- Analiza rezultata, donošenje zaključaka, objašnjenje ograničenja, donošenje preporuka aktivnosti na temelju provedene analize, izvještavanje o rezultatima interpretacije rezultata na transparentan način;
- Jasna, kompletna i konzistentna prezentacija kompletne LCA analize, u skladu s definicijom svrhe i opsega analize.

Interpretacija rezultata LCA analize najčešće nije jednostavna na način da se može reći kako je dva bolje od jedan, pa je bolje odabrati opciju dva. U nekim slučajevima čak nije moguće odrediti koja alternativa je bolja zbog nepouzdanosti krajnjih rezultata, ili iz nekog drugog razloga. Međutim, to ne znači da je analiza provedena uzalud. Provedena LCA analiza će ipak dati detaljan uvid u utjecaj na okoliš svakog od alternativnih rješenja, što je već velik korak ka poboljšanju postojećeg stanja.

Prema normi ISO 14043, faza interpretacije se sastoji od sljedeća tri koraka:

1) Identifikacija ključnih pitanja na temelju rezultata iz faza LCI i LCIA
2) Procjena rezultata koja uključuje kompletnost, osjetljivost i dosljednost
3) Zaključci, preporuke i izvještaji.

5.2. Ograničenja u provedbi LCA metode [26]

Usprkos tome što je LCA metoda jedan od najkorisnijih i najkonkretnijih alata korištenih unutar industrijske proizvodnje kojim se razmatra ekološki aspekt proizvoda postoje brojna ograničenja i nedostatci u njenoj primjeni. Slijedi nabrojano nekoliko ograničenja i nedostataka koji su se pokazali česti kroz praksu provođenja LCA metode:

- Troškovi provođenja LCA analize mogu biti preveliki, pogotovo za manja poduzeća,
- Vrijeme potrebno za provođenje kvalitetne analize često zna premašiti ukupno vrijeme razvoja proizvoda,
- Često je problematično ili čak nemoguće odrediti funkcijsku jedinicu prilikom usporedbe više konstrukcijskih rješenja,
- Alokacijske procedure nisu egzaktne, stoga nose sustavne greške, što će se odraziti na ukupan rezultat analize,
- Za analizu kompleksnih proizvoda (na primjer automobila) potrebno je mnogo resursa (ljudi, vremena, radnih sati,…),
- Dostupnost podataka je često ograničena,
- Podatci često nisu zadovoljavajuće kvalitete,
- Još uvijek ne postoje opće prihvaćeni i usuglašeni karakterizacijski faktori za sve vrste utjecaja na okoliš,

- Odgovorne osobe (osobe koje donose odluke) često ne posjeduju dovoljno stručnog znanja iz područja ekologije, da bi donijele kvalitetne odluke na temelju rezultata provedene analize.

Uz sve nabrojano u ovome poglavlju vidljiva je kompleksnost i dugotrajnost provođenja LCA metode. Kako je električno vozilo izuzetno kompleksan sustav s puno aspekata, tako i s proizvodnog, a posebno iz pogleda provođenja LCA metode za svaki dio i svaku komponentu automobila, LCA metoda provesti će se na jednom, pokaznom, dijelu vozila. Stoga će u nastavku ovoga završnog rada biti podrobnije objašnjena provedba LCA metode na bateriji električnog vozila korištenjem softvera za LCA metodu pod nazivom „SimaPro“. Biti će konkretnije objašnjen sam softver kao i njegova upotreba, kao i eventualne poteškoće i problemi na koje se naišlo u provedbi analize.

6. PRIMJENA LCA METODE NA ODABRANOJ KOMPONENTI ELEKTRIČNOG VOZILA

LCA metoda će se provesti na odabranom dijelu električnog vozila – bateriji, odnosno kao konkretan primjer provođenja LCA metode biti će uzeto kućište baterije. Kućište je zanimljiv primjer jer svojom funkcijom mora osigurati više stvari, pružiti sigurnost kod eventualnih sudara, osigurati električnu i kemijsku inertnost, mora biti otporno na visoke napone i struje u slučaju kvara i dr. LCA metoda biti će provedena korištenjem softvera „SimaPro 8.2.3.0 Demo“, čije će značajke i upotreba biti objašnjene u nastavku. No, „SimaPro“ svakako nije jedini softver tog tipa na tržištu, već je korišten zbog svoje dostupnosti. Među značajne softvere za provedbu LCA metode također ulaze: „GaBi LCA“, „Umberto“, i dr.

6.1. Značajke, primjena i ograničenja softvera „SimaPro 8.2.3.0 Demo“ [28]

SimaPro je profesionalni softver za provođenje LCA metode, služi prikupljanju, analizi i praćenju podataka o održivosti proizvoda i usluga. Softver može biti korišten u razne svrhe, poput kreiranja izvještaja o održivosti, praćenju utjecaja na okoliš, za projektiranje proizvoda, deklariranja proizvoda u ovisnosti o njihovom eko otisku te za praćenje ključnih pokazatelja uspješnosti poduzeća.

SimaPro pomaže da se LCA metoda učinkovito primjeni u praksi, pomaže kod donošenja odluka u konstrukciji te proizvodnji. Time utječe na unapređenje životnog ciklusa proizvoda, samim time i na ekološki utisak koji poduzeće ostavlja kod svojih partnera i kupaca. Korištenjem ovog softvera moguće je [28]:

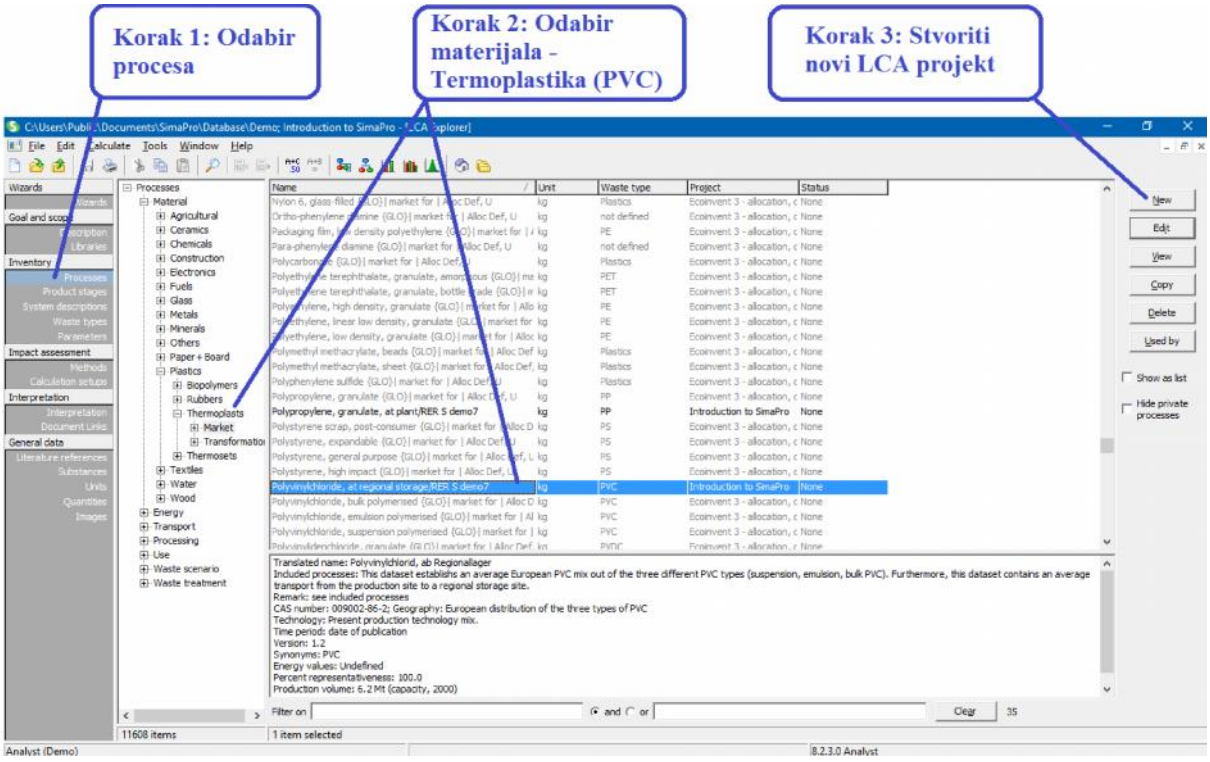
- Jednostavno modelirati i analizirati složene životne cikluse određenih proizvoda na sustavan i transparentan način,
- Mjeriti utjecaj na okoliš određenog proizvoda kroz sve faze životnog ciklusa,
- Prepoznavati kritična mjesta u kompletnom opskrbnom lancu proizvoda, od vađenja sirovina, distribucije i korištenja pa sve do reciklaže.

Naravno kod sveg spomenutog treba uzeti u obzir kako u sklopu izrade ovog završnog rada nije bilo moguće osigurati korištenje pune verzije softvera „SimaPro“ sa svim pripadajućim bazama podataka, već je korištena demo verzija istog softvera „SimaPro 8.2.3.0

Demo“. Spomenuta verzija softvera je dosta ograničena po pogledu pristupa bazama podataka te raspolaže sa svega 4 – 5% informacija koje su dostupne u punoj verziji, s obzirom na ta ograničenja biti će provedena približna analiza odabranog dijela – kućišta baterije.

6.1.1. Korištenje softvera

Princip korištenja softverom biti će pokazan kroz primjer proizvodnje kućišta baterije. Masa cjelokupne baterije iznosi 540 kg, gdje masa kućišta sudjeluje s otprilike 8,5%. Kao odabrani primjer baterije korištena je baterija iz modela Tesla Model S [29], [30]. Prvi korak u provođenju LCA metode prikazan je na slici 13.



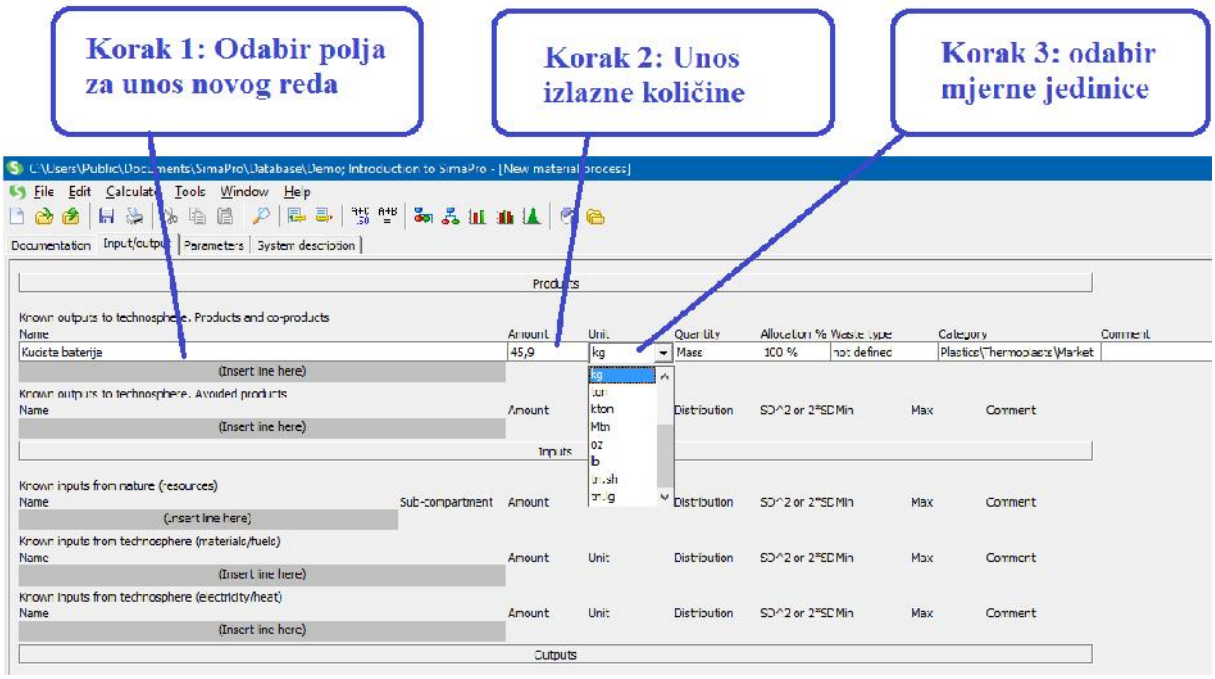
Slika 13. Otvaranje novog procesnog lista za LCA

Kako je prikazano slikom 13. otvaranje novog procesnog lista pomoću kojeg krećemo u provođenje LCA metode provodi se u tri koraka [31]:

- Odabirom procesa u „LCA Explorer“ izborniku,
- Odabirom materijala od kojih se sastoji naš promatrani proizvod,
- Stvaranjem novog procesnog lista kroz koji će se provesti LCA.

Kako se u ovom primjeru radi o analizi utjecaja na okoliš plastičnog kućišta baterije, za početni materijal je odabran poli(vinil-klorid) – PVC[11]. Poli(vinil-klorid) odabran je zbog ograničenja dostupne baze podataka, a kao dobra zamjena za ABS[12] polimere koji se tipično koriste za tu svrhu, iako se i PVC zna naći u toj primjeni [32].

Sljedeći korak je unos podataka vezanih za gotovi proizvod, tzv. izlaznih parametara proizvoda. Prikaz unosa izlaznih parametara proizvoda dan je na slici 14.



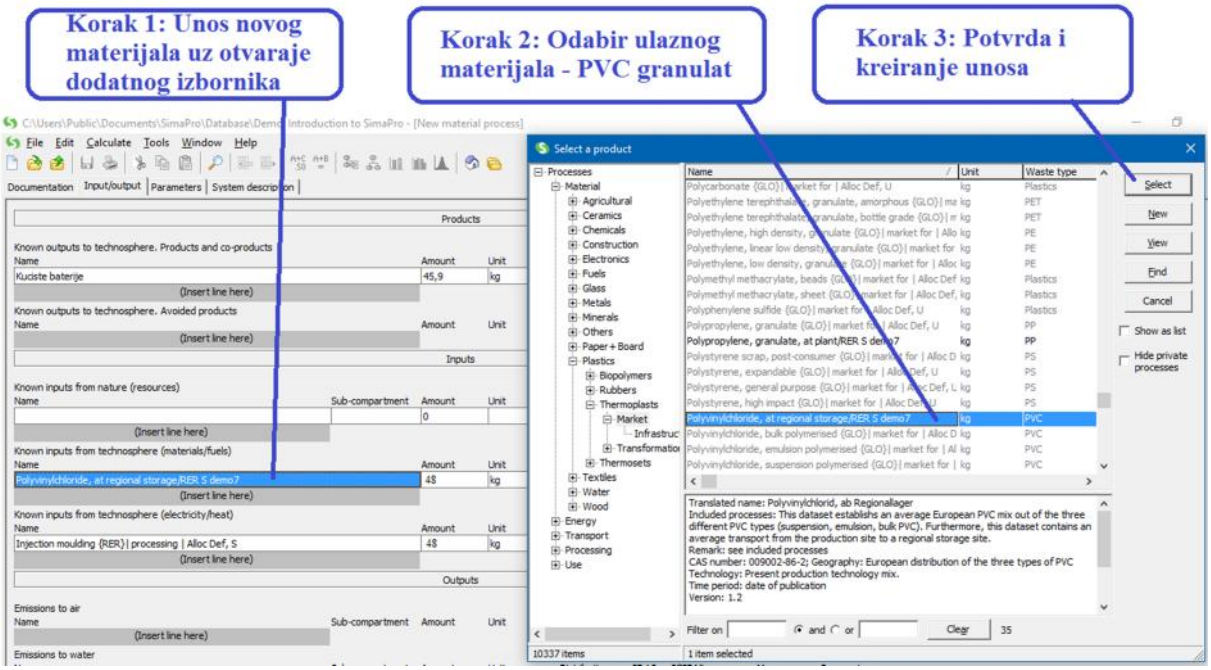
Slika 14. Unos izlaznih parametara proizvoda

Unos izlaznih parametara proizvoda kako je prikazano slikom 14. također se provodi u tri koraka Kroz prvi korak unosi se novi proizvod, u primjeru je to kućište baterije, ili više proizvoda ako je odlučeno da će se LCA provoditi za više srodnih proizvoda istovremeno. Drugi i treći korak odnose se na unos količine izlaznog proizvoda, a u primjeru je to 45,9 kg odabranog polimera – PVC. Unesena količina od 45,9 kg odgovara postotnom udjelu mase kućišta u ukupnoj masi baterije od 540 kg, a on iznosi 8,5%.

[11]PVC – poli(vinil-klorid) je plastomerni materijal koji se dobiva radikalskom polimerizacijom vinil-klorida, najčešće u vodenoj suspenziji. Dobrih je električnih izolacijskih svojstava pa u elektroindustriji služi za izradbu kućišta, a najviše za izolaciju električnih kabela [33].

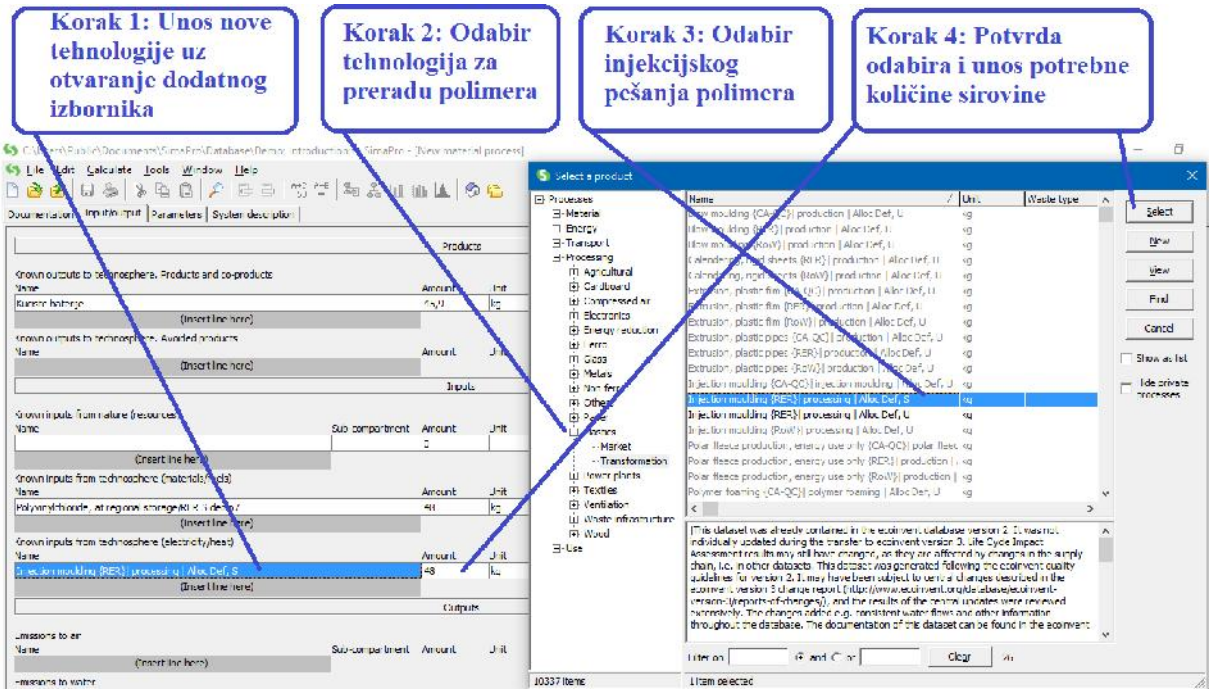
[12]ABS polimeri - Akrilonitril butadien stiren je amorfni polimer koji nastaje polimerizacijom emulzije ili mase akrilonitrila i stirena u prisustvu polibutadiena [33].

Slijedi korak kroz koji se postavljaju ulazni parametri proizvoda, a može se raditi o više parametara. Moguće je postaviti sve tipove materijala, energija, transportnih sredstava i dr. koji se koriste u procesu dobivanja gotovog proizvoda iz sirovine. U primjeru, se radi o svega jednom ulaznom materijalu – termoplastici poli(vinil-klorid) u granulama koja se nabavlja iz lokalnog skladišta i o jednoj korištenoj tehnologiji – injekcijsko prešanje polimera. U primjeru se razlika s obzirom na prethodni korak pojavljuje kod unosa tehnologija kojeg nije bilo u prethodnom koraku – unos izlaznih parametara proizvoda. Prilikom unosa odabrane tehnologija unosi se i podatak o količini ulazne sirovine, u primjeru radi se o približno 48 kg. Unesena količina od 48 kg odgovara potrebnoj masi sirovine – granula, razlika od 2,1 kg odgovara potrebnom uvećanju uslijed gubitaka. Do gubitaka dolazi iz razloga što dio materijala otpada na popunjavanje kalupnog vijenca te na grozd, a tipični gubici iznose 3 – 5% [34]. Provođenje ovog koraka prikazano je na slikama 15. i 16. u nastavku.



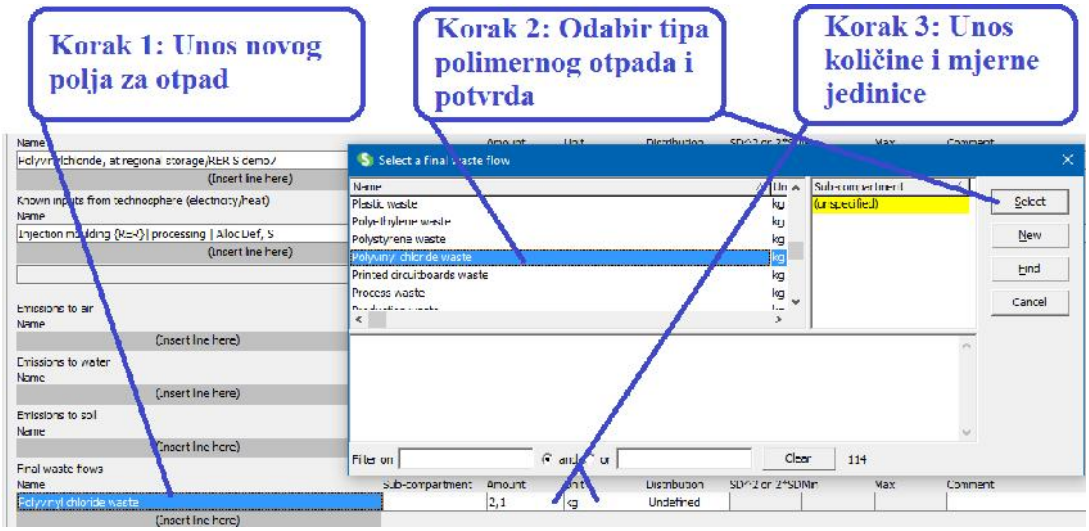
Slika 15. Unos ulaznih parametara proizvoda – sirovina

Kao tehnologija izrade odabrano je injekcijsko prešanje polimera iz razloga nedostupnosti konkretnih podataka od proizvođača baterija za električna vozila. Injekcijsko prešanje jedan je od najznačajnijih i najraširenijih postupaka praoblikovanja ubrizgavanjem polimera iz sirovine – granula [35].



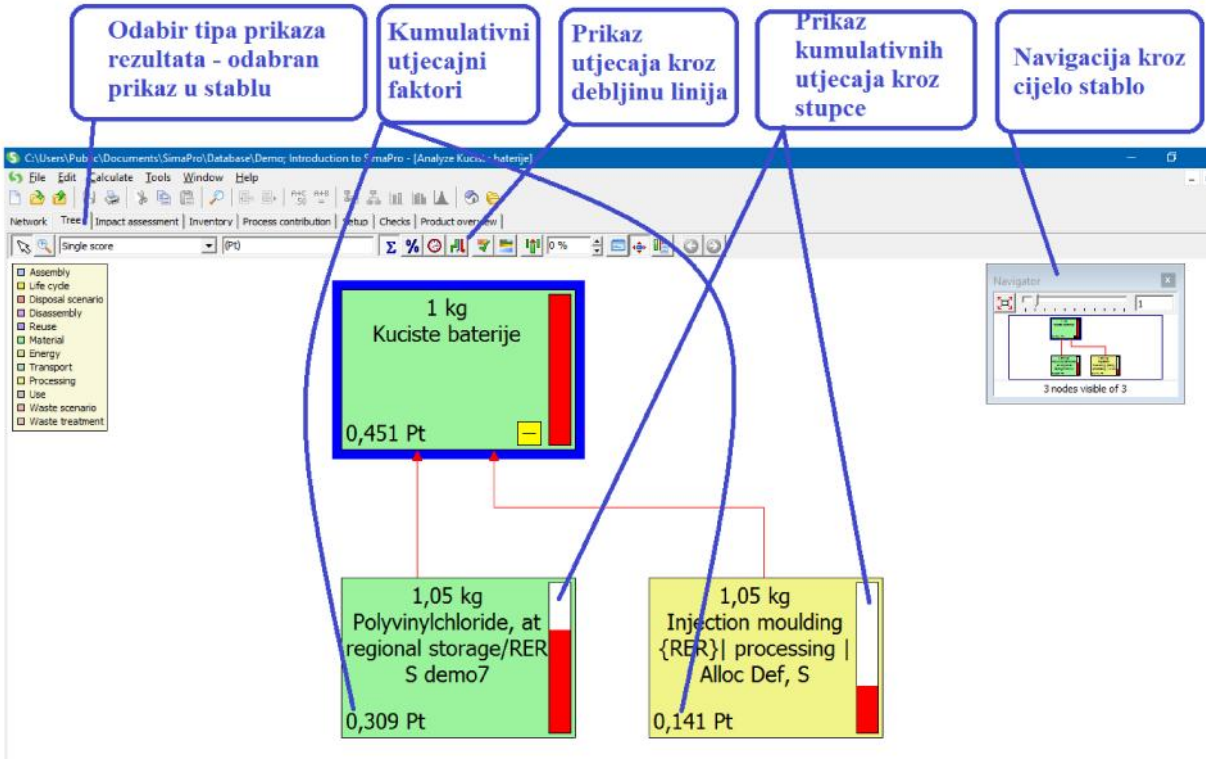
Slika 16. Unos ulaznih parametara proizvoda - tehnologija

Završni korak prije pokretanja LCA analize je unos vrste i količine otpadnog materijala, u primjeru tu se radi o 2,1 kg otpadne plastike koja se odstranjuje nakon vađenja kućišta iz kalupa. Provođenje završnog koraka za unos podataka prikazano je na slici 17.



Slika 17. Unos izlaznih parametara proizvoda - otpad

Korak u kojem se vide rezultati provedene LCA analize prikazan je slikom 18. A detaljniji opis dobivenih rezultata, kao i objašnjenje pojedinih dijelova softvera slijedi u nastavku.



Slika 18. Prikaz rezultata dobivenih korištenjem softvera

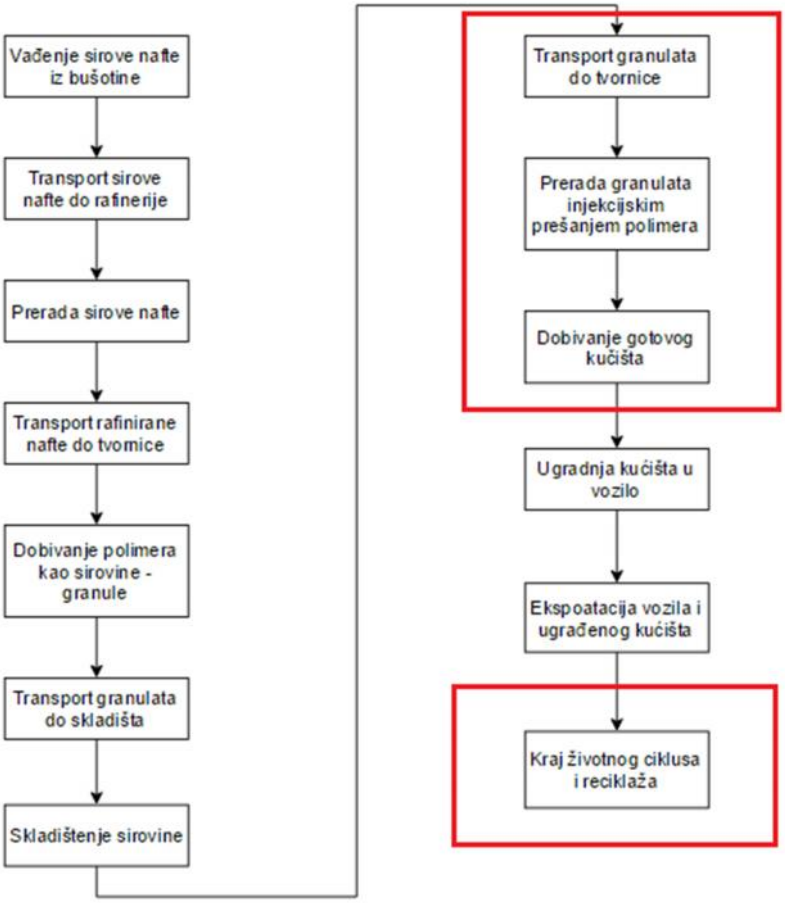
Kao što je vidljivo iz slika 18. rezultati provedene LCA analize prikazani su u strukturi stabla kako bi se lakše vidjela struktura utjecajnih faktora na konačni ekološki utisak gotovog proizvoda. Dodatno je moguće aktivirati opciju u softveru koja omogućava prikaz udjela utjecajnih faktora u gotovom proizvodu kroz debljinu linija koje povezuje dijelove procesa. Spomenuta opcija posebno je korisna kod kompleksnijih proizvoda gdje omogućava lakše snalaženje u cjelokupnoj mreži utjecajnih faktora. Time se olakšava praćenje određenih utjecaja kroz sve faze nastanka proizvoda, pa i do samog izvora. Snalaženje kroz kompleksna stabla složenih proizvoda omogućuje dodatan prozor „Navigator“ koji je vidljiv u sklopu dobivenih rezultata.

Kumulativni prikaz kroz stupce možda je i najznačajniji način praćenja utjecajnih faktora, jer se kroz njega uzima ne samo ekološki otisak prethodne faze ili faza već i ekološki utisak koji prethodnim fazama dodaje promatrana faza, odnosno proces. Uz sve to prikaz kroz stupce vrlo je slikovit te iz tog razloga lagan za razumijevanje i praćenje.

6.2. Primjena softvera „SimaPro 8.2.3.0 Demo“ za LCA kućišta baterije

Zbog opsežnosti i velikog broja faza u životnom ciklusu baterije za električna vozila, kroz ovaj završni rad ograničit ćemo se na promatranje, odnosno provedbu LCA analize samo za proces proizvodnje i reciklaže kućišta baterije. Uzimanje u obzir cijele baterije bio bi preopsežan posao za završni rad.

"SimaPro 8.2.3.0 Demo" će uz ranije spomenuta ograničenja, male dostupne baze podataka i nedostupnosti svih alata, dati samo približnu procjenu ekološkog utjecaja kućišta baterije na okoliš.



Slika 19. Shematski prikaz faza u životnom ciklusu kućišta baterije

Faze u životnom ciklusu kućišta baterije prikazane su slikom 19., crvenom bojom zaokružen je onaj dio životnog ciklusa baterije koji je tema promatranja ovog završnog rada i za koji će se provesti LCA analiza. Ugradnja kućišta kao i eksploatacija su preskočene jer ne postoje dostupne informacije o utrošku energije ili eventualnim onečišćenija u tim fazama, a i logično je zaključiti da je utjecaj navedenih faza zanemariv ukoliko vozilo ne sudjeluje u težoj

prometnoj nesreći. Kroz daljnji tekst dati će se detaljniji prikaz provođenja LCA metode na odabranom primjeru kroz 4 tipična koraka kojima se LCA metoda provodi.

6.2.1. Određivanje svrhe i opsega provedbe LCA analize

Svrha analize

Prvi korak u provedbi LCA analize je definiranje njene svrhe. Time se jasno definira za koju potrebu se provedena analiza smije, a za koju ne smije koristiti. Svrha provedbe analize će metodološki odrediti kasnije faze. Stoga je potrebno kvalitetno definirati svrhu analize kako bi se izbjegle eventualne pogrešne pri interpretacije rezultata.

Dakle, prije početka provođenja LCA analize treba dati jasne odgovore na sljedeća pitanja:

- Koja je osnovna namjena provedbe LCA analize?
- Za što će se rezultati analize koristiti?
- Kome će se analiza prezentirati?
- Koje se odluke mogu donijeti na temelju provedene analize?

Ova LCA analiza provodi se za potrebe zadanog rada kako bi se utvrdio princip i razradio osnovni pristup koji je potreban za provođenje jedne takve analize. Rezultati ove analize mogu se iskoristiti za uočavanje kritičnih točaka u procesu proizvodnje kućišta baterije za električna vozila, a pod pojmom "kritične točke" smatra se, u ovom slučaju najizraženiji štetni utjecaji na okoliš. Kod korištenja rezultata treba uzeti u obzir kako njihova točnost može odstupati od stvarnih vrijednosti s obzirom na ograničenja korištenog softvera te nedostupnosti specifičnih podataka o proizvodnom ciklusu kućišta.

Ovakav tip analize često se provodi u edukativne i pokazne svrhe, a njegova primjena postoji i u određenim slučajevima unutar industrije i proizvodnje. Na primjer kada postoji potreba za brzim promjenama u nekom od dijelova proizvodnog ciklusa u svrhu dobivanja informacija za buduća poboljšanja ili kod traženja određenih certifikata. Isto tako ova analiza može poslužiti za usporedbu različitih tipova praoblikovanja polimera ako se usporedi sa sličnim analizama provedenih za neku drugu tehnologiju.

Opseg analize

Kao što je već poznato zadaća definicije opsega analize jest identificiranje predmeta analize, kao i definiranje granica koje će obuhvatiti sve ono što je bitno, odnosno ono što je definirano svrhom analize.

Kućište baterije ima višestruku ulogu u funkcioniranju električnog vozila. Primarna svrha je smještaj baterijskih ćelija u sklopu vozila. Kućište svojom konstrukcijom, izvedbom i odabranim materijalima mora osigurati sigurnost putnika u vozilu i uz to vezanu kemijsku, termalnu i elektro otpornost. To uključuje izdržavanje velikih struja i napona u slučaju kratkog spoja kao i s time povezanih temperaturnih i kemijskih oštećenja. Nadalje, kućište u slučaju sudara ima zadatak spriječiti istjecanje opasnih kemikalija te zato mora biti otporno na udarna opterećenja. Pruženo jamstvo na baterije je minimalno 5 godina, uz obavezu redovitog održavanja. Trajnost baterija je približno 10 godina, a nerijetko to bude i dvostruko više.

Kako bi LCA analizu bilo uopće moguće provesti, te ujedno dati i što preciznije tumačenje dobivenih rezultata, potrebno je jasno definirati procese koji će biti obuhvaćeni analizom. Obuhvaćeni procesi, kao i pripadajući ulazni i izlazni parametri prikazani su ranije slikom 19. i zaokruženi su crvenom bojom. Granice sustava odnose se samo na proces dobave i prerade sirovine u gotovo kućište Analiza će se provesti na primjeru godišnje proizvodne količine Modela S od 50 580 primjeraka u 2015. godini [21].

<u>Unos ulaznih parametara</u>

Nakon što se definira svrha i opseg LCA analize sljedeći korak je obaviti unos ulaznih podataka u softver „SimaPro 8.2.3.0 Demo“. Ulazni podaci za provedbu analize u softveru SimaPro opisani su u prošlom poglavlju gdje je detaljnije dan njezin opis rada.

Najbitniji ulazni podatak za proces proizvodnje kućišta baterije je količina ulazne sirovine, masa gotovog proizvoda kao i razlika koja generira otpadni polimer. Ulazna količina PVC – a iznosi 2 427 840 kg, a vrijednost je dobivena prema sljedećem izračunu:

$$m_{s} = m_{k\ čišt} \cdot (1 + p_{p\ ša}) \cdot n_{g\ šn}$$

$$m_{s} = 45{,}9 \cdot (1 + 0{,}05) \cdot 52\,580$$

$$m_{s} = 2\,427\,840\ k$$

gdje je: m_{s} – potrebna količina poli(vinil-klorida) za postupak injekcijskog prešanja,

$m_{k\ čišt}$ – masa gotovog proizvoda,

$p_{p\ ša}$ – postotni udio gubitka materijala u toku procesa, između 3 i 5% [34],

$n_{g\ šn}$ – godišnja proizvodna količina [21].

Masa gotovog kućišta iznosi 45,9 kg, a ukupna masa proizvoda na godišnjoj razini iznosi 2 321 622 kg, vrijednost je dobivena prema sljedećem izrazu:

$$m_{k\ ćišt} = m_b \cdot p_{k\ ćišt} \cdot n_{g\ šn}$$

$$m_{k\ ćišt} = 540 \cdot 0{,}085 \cdot 52\,580$$

$$m_{k\ ćišt} = 2\,321\,622\ k$$

gdje je: m_b – masa cijelokupnog baterijskog paketa, koji uključuje kućište i baterijske članke(katode, anode i elektrolit) i druge sadržane komponente,

$m_{k\ ćišt}$ – masa gotovog proizvoda, odnosno masa samog kućišta,

$p_{k\ ćišt}$ – postotni udio mase kućišta u cijelokupnom baterijskom paketu, približno 8,5% [29],

$n_{g\ šn}$ – godišnja proizvodna količina [21].

Količina utrošene električne energije potrebne za provedbu procesa injekcijskog prešanja iznosi po nekim proračunima i mjerenjima 0,46 kWh po kilogramu sirovine. Izneseni podatak vrijedi za hibridni tip preše [36]. Izračun utrošene električne energije prikazan je u nastavku.

Utrošena količina električne energije na godišnjoj razini iznosi 1 116 806,4 kWh, vrijednost je dobivena prema sljedećem izrazu:

$$W_s = m_{si} \cdot k_{p\ ša} \cdot n_{g\ šn}$$

$$W_s = 48 \cdot 0{,}46 \cdot 52\,580$$

$$W_s = 1\,116\,806{,}4\ k\ h$$

gdje je: W_s – utrošena količina električne energije,

m_{si} – sirovine koja ulazi u proces,

$k_{p\ ša}$ – specifična količina električne energije potrebna za proces injekcijskog prešanja[36],

$n_{g\ šn}$ – godišnja proizvodna količina [21].

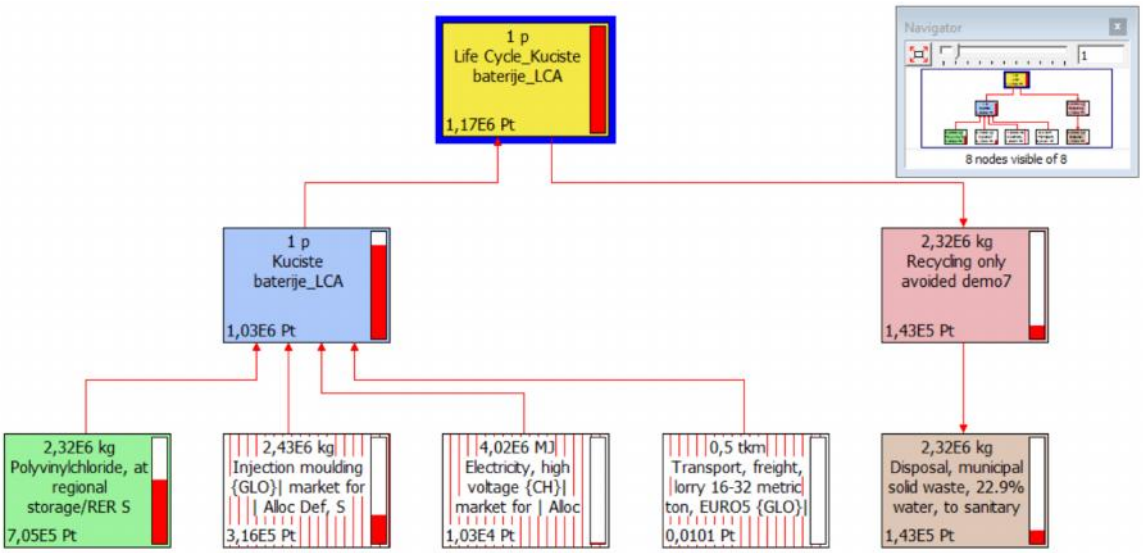
Dobivenu količinu električne energije softver je pretvorio u energiju u MJ, koja iznosi 4 021 110 MJ.

Dodatan utjecajni faktor u LCA analizi jest transport potrebne sirovine od skladišta dobavljača do tvornice. Za potrebe ove LCA analize procijenjeno je kako je udaljenost između skladišta iz kojega se dovozi sirovina do tvorničkog kruga 500 km, a da se transport

obavlja kamionom pogonjenim EURO 5[6] motorom s unutarnjim sagorijevanjem. Temeljem unesene udaljenosti i tipa prijevoznog sredstva softver je procijenio količinu unesenog zagađenja na godišnjoj razini.

Nakon unosa svih potrebnih ulaznih podataka, u sljedećem koraku formira se "Stablo procesa", što je u stvari blok dijagram kojim se predstavlja mreža potprocesa koji će se promatrati u analizi.

Na slici 20. prikazano je stablo procesa dobave, proizvodnje i reciklaže jednog baterijskog kućišta za električna vozila. Ono prikazuje kakve utjecaje na okoliš daju navedeni procesi te su svaki zasebno označeni ekološkim indikatorima. Ekološki indikator je zapravo broj koji pokazuje koliki je utjecaj na okoliš promatranog procesa ili materijala u određenoj fazi životnog ciklusa. Što je vrijednost indikatora veća to je i veći utjecaj promatranog procesa ili materijala na okoliš. Njihova vrijednost izražena je u Pt ("Points").



Slika 20. Stablo procesa za odabrane faze životnog ciklusa kućišta baterije

6.2.2. Faza prikupljanja i analize podataka – LCI

U sklopu LCI faze provođena analize kvantificira se: potrošnja sirovina i energije, određuje se količina otpada te emisije štetnih tvari u okoliš. Navedeno se provodi za sve procese i podprocese koji spadaju u granice promatranog sustava, a detalji će biti prikazani kroz tablice i dijagrame dobivene korištenjem softvera „SimaPro 8.2.3.0 Demo“.

[13]EURO 5 – europski emisijski standard za vozila pogonjena motorima s unutarnjim sagorijevanjem

Dobivene tablice i dijagrami proračunati su iz ulaznih i izlaznih podataka prema metodi ranije spomenutih ekoloških indikatora[14] te su brojčano izraženi u Pt ("Points").

Compartment: Raw material | Indicator: Amount | Cut-off: 0% | Per sub-compartment | Skip unused | Category | Standard | Group | Default units | Exclude long-term emissions | Check this option to exclude all long-term emissions

No	Substance	Compartment	Unit	Total	Kuciste baterije_LCA	Recycling only avoided demo7
1	Aluminium	Raw	tn.lg	1,08	1,05	0,0299
2	Anhydrite	Raw	kg	9,48	9,48	0,00214
3	Argon	Raw	kg	83,4	83,4	x
4	Barite	Raw	tn.lg	1,68	1,64	0,0398
5	Basalt	Raw	kg	466	460	6
6	Borax	Raw	kg	1,41	1,41	0,000928
7	Bromine	Raw	g	271	271	x
8	Cadmium	Raw	kg	3,21	3,21	x
9	Calcite	Raw	tn.lg	117	115	1,5
10	Carbon dioxide, in air	Raw	tn.lg	322	322	0,203
11	Carbon, organic, in soil or biomass stock	Raw	kg	273	273	x
12	Carnallite	Raw	g	240	240	x
13	Cerium	Raw	g	12,7	12,7	x
14	Chromium	Raw	kg	645	633	11,9
15	Chrysotile	Raw	g	201	200	0,492
16	Cinnabar	Raw	g	4	3,55	0,451
17	Clay, bentonite	Raw	kg	674	662	12,7
18	Clay, unspecified	Raw	tn.lg	19,9	19,3	0,575
19	Coal, brown	Raw	tn.lg	416	415	1,63
20	Coal, hard	Raw	kton	1,31	1,31	0,00147
21	Cobalt	Raw	g	97,4	97,2	0,173
22	Colemanite	Raw	kg	4,87	3,66	1,21
23	Copper, 0.52% in sulfide, Cu 0.27% and Mo 8.2E-3% in crude ore	Raw	kg	50,5	50,5	x
24	Copper, 0.59% in sulfide, Cu 0.22% and Mo 8.2E-3% in crude ore	Raw	kg	33,2	33,2	x
25	Copper, 0.97% in sulfide, Cu 0.36% and Mo 4.1E-2% in crude ore	Raw	kg	9,6	9,6	x

Analyzing 1 p 'Life Cycle_Kuciste baterije_LCA'; Method: Eco-indicator 99 (H) V2.10 / Europe EI 99 H/A

Slika 21. Prikaz potrošnje sirovina i energije

Slikom 21. prikazan je utrošak energije i sirovina u procesu dobave, proizvodnje i reciklaže kućišta baterije. Prikaz se odnosi na količinu utrošenog sirovog materijala. Cjelokupan prikaz je preopširan da bi se cijeli prikazivao. Ukupno se sastoji od 579 različitih tipova i vrsta materijala i energije koji su sudjelovali u cijelome procesu.

Softver u sklopu analitičkog paketa nudi brojne mogućnosti proučavanja i analize dobivenih podataka. Proučavati se može zaseban utjecaj sirovine, utrošene energije ili kombinacija to dvoje. Isto tako, analiza se može usredotočiti na određene aspekte zagađenja, kao što su emisije u tlo, vodu ili zrak te utjecaj na zdravlje ljudi. Dio tih mogućnosti prikazan je na slici 22.

[14] Ekološki indikatori - su brojevi koji izražavaju ukupnu količinu eko otiska pojedinog proizvoda ili procesa

Compartment: Airborne emission | Indicator: Amount | Cut-off: 0% | Per sub-compartment | Skip unused | Category | Standard | Group | Default units | Exclude long-term emissions | Per impact category

No	Substance	Compartment	Sub-compartment	Unit	Total	Kuciste baterije_LCA	Recycling only avoided demo7
1	1-Butanol	Air	high. pop.	mg	24,2	24,2	x
2	1-Pentanol	Air	high. pop.	mg	12,6	12,6	x
3	1-Pentene	Air	high. pop.	mg	24,1	24,1	x
4	1-Propanol	Air	high. pop.	g	24,1	24,1	x
5	1,4-Butanediol	Air	high. pop.	mg	83,7	83,7	x
6	2-Aminopropanol	Air	high. pop.	mg	11,8	11,8	x
7	2-Butene, 2-methyl-	Air	high. pop.	µg	240	240	x
8	2-Methyl-1-propanol	Air	high. pop.	mg	26,4	26,4	x
9	2-Nitrobenzoic acid	Air	high. pop.	mg	15,4	15,4	x
10	2-Propanol	Air		mg	412	412	x
11	2-Propanol	Air	high. pop.	g	85	85	x
12	2,4-D	Air	low. pop.	mg	50,5	50,5	x
13	Acenaphthene	Air		mg	1,88	1,88	x
14	Acenaphthene	Air	high. pop.	mg	2,73	2,72	0,00874
15	Acenaphthene	Air	low. pop.	mg	59,5	59,5	x
16	Acenaphthylene	Air		µg	784	784	x
17	Acephate	Air	low. pop.	mg	5,37	5,37	x
18	Acetaldehyde	Air		g	410	410	x
19	Acetaldehyde	Air	high. pop.	g	719	718	1,6
20	Acetaldehyde	Air	low. pop.	g	77,8	77,8	x
21	Acetamide	Air	low. pop.	mg	1,32	1,32	x
22	Acetic acid	Air		kg	11,4	11,3	0,0101
23	Acetic acid	Air	high. pop.	kg	5,59	5,58	0,0101
24	Acetic acid	Air	low. pop.	g	934	934	x
25	Acetone	Air		g	64	64	x

Analyzing 1 p 'Life Cycle, Kuciste baterije_LCA': Method: Eco-indicator 99 (H) V2.10 / Europe EI 99 H/A

Slika 22. Grafički i numerički prikaz utjecaja

Slika 22. prikazuje količinu ispuštenog zagađenja u zrak, prikazan je svaki pojedini kemijski element ili spoj koji utječe na onečišćenje zraka u sklopu promatranog procesa. Dodatni utjecajni faktori se odnose na emisije ispuštene u zrak u vidu toplinske energije. Indikator utjecaja je pripadajuća količina zagađenja, u kilogramima za tvari te u džulima za energiju.

Podaci koji su vezani za same procese u sklopu proizvodnje kućišta baterije, te dostavu energije i sirovina koji su obuhvaćeni ovom analizom određeni su bazama podataka i podosta su općeniti. Na osnovu porijekla podataka može se pretpostaviti kako su promatrani procesi i upotrebljene tehnologije dostupne proizvođaču kućišta baterije, u ovom primjeru Tesla Motors, napredniji i manje štetni za okoliš od upotrebljenih.

Rezultat ovog koraka LCA analize jest stvaranje liste svih utvrđenih opterećenja na okoliš, zajedno s pripadajućim funkcionalnim jedinicama.

6.2.3. Određivanje utjecaja na okoliš – LCIA

Kroz ovu fazu se u analizi pokušava odrediti veza između proizvoda i procesa i njihovog potencijalnog utjecaja na okoliš. U ovoj fazi LCA analize određuju se potencijalni utjecaji na okoliš, kao i na ljudsko zdravlje, i to na temelju podataka o potrošnji resursa i ispuštenih emisija u okoliš, dobivenih u prethodnoj fazi. Pod utjecajem se osim štetnih emisija podrazumijeva i osiromašenje prirodnih resursa.

U provođenu ove faze postoje tri osnovna koraka, kao što je spomenuto kod općenitog opisa LCA analize. Međutim, ova faza provest će se kroz 4 koraka kako bi se bolje naglasile mogućnosti softvera vezane za analizu utjecaja na okoliš. Spomenuti koraci u provođenu ove faze su sljedeći:

- Klasifikacija
- Karakterizacija
- Normiranje
- Mjerenje jačine utjecaja na okoliš - "weighting"

Klasifikacija

Prvi korak je klasifikacija, ima za *svrhu grupiranje, odnosno svrstavanje, rezultata dobivenih u fazi popisivanja i analize podataka u prethodno definirane kategorije.* Naravno, može se desiti da jedna veličina može biti svrstana u više kategorija utjecaja. Kategorije utjecaja na okoliš koje će biti razmatrane u ovom primjeru prikazane su slikom 23.

Network | Tree | Impact assessment | Inventory | Process contribution | Setup | Checks (1148,0) | Product overview

Characterization | Damage Assessment | Normalization | Weighting | Single score

Skip categories: Never — Standard / Group

Sel	Impact category	Unit	Total	Kuciste baterije_LCA	Recycling only avoided demo7
☑	Carcinogens	DALY	2,98	0,951	2,03
☑	Resp. organics	DALY	0,0113	0,0106	0,000724
☑	Resp. inorganics	DALY	8,8	8,75	0,053
☑	Climate change	DALY	1,97	1,77	0,202
☑	Radiation	DALY	0,033	0,0326	0,000382
☑	Ozone layer	DALY	0,00044	0,000431	8,36E-6
☑	Ecotoxicity	PAF*m2yr	6,14E6	1,01E6	5,13E6
☑	Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	2,16E5	2,14E5	1,82E3
☑	Land use	PDF*m2yr	-6,02E4	-6,44E4	4,17E3
☑	Minerals	MJ surplus	6,89E4	6,7E4	1,94E3
☑	Fossil fuels	MJ surplus	1,85E7	1,84E7	9,57E4

Slika 23. Razmatrane kategorije utjecaja

Sa slike 23. je vidljivo da softver formirane procese izbacuje 11 kategorija utjecaja na okoliš, to su: fosilna goriva, ekotoksičnost[15], zakiseljavanje okoline, minerali, kancerogenost, klimatske promjene, radioaktivnost, uništavanje ozonskog omotača, zagađivanje tla, te zagađenje zraka organskim i anorganskim tvarima opasnim za zdravlje ljudi.

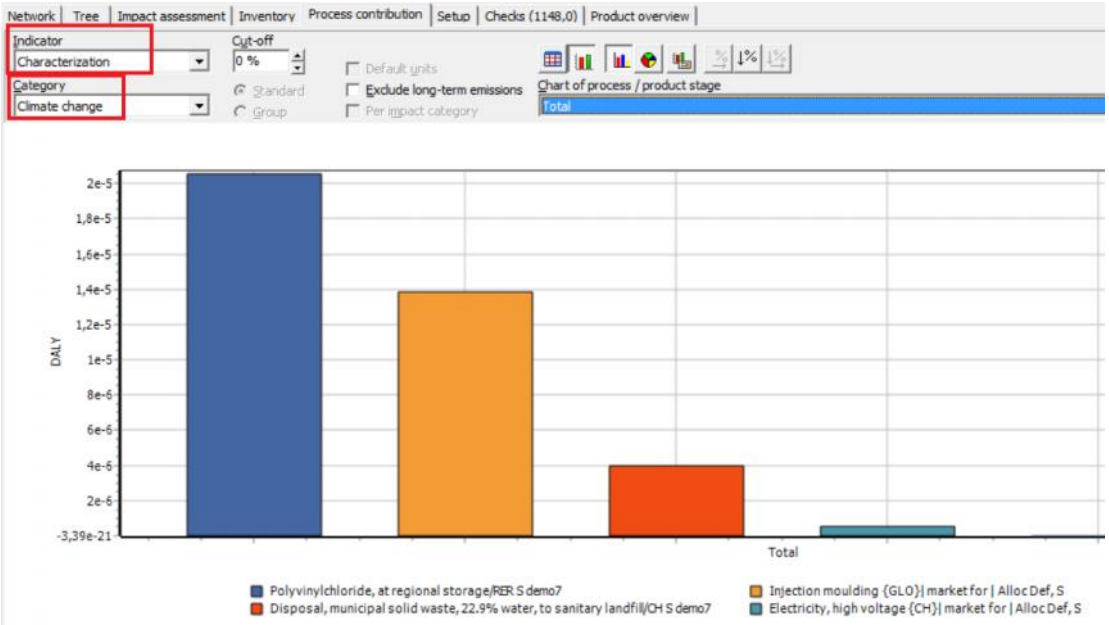
Iz slike je vidljivo da se većina utjecaja izražava u jedinici DALY (engl. Disability-Adjusted Life Year), koja označava stopu izgubljenih godina zdravoga života.

Nakon što je napravljena klasifikacija tipova zagađenja moguće je prijeći na sljedeći korak u fazi određivanja utjecaja na okoliš, a to je karakterizacija.

[15]Ekotoksičnost - otrovnost kemikalija na različite dijelove okoliša

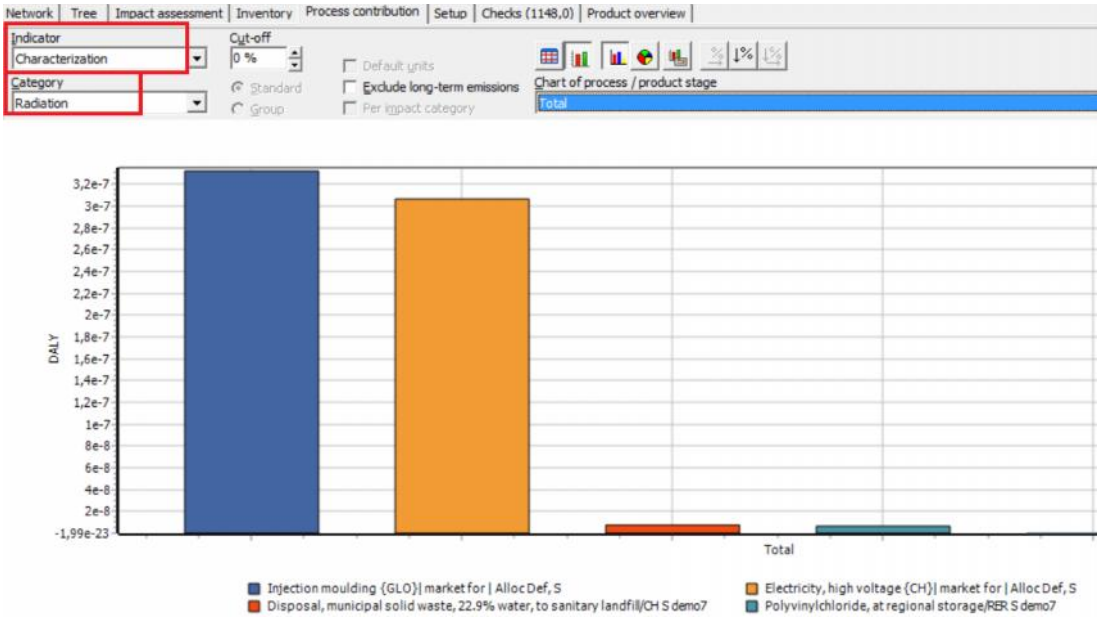
Karakterizacija

Kroz ovaj korak prikazano je modeliranje podataka dobivenih u LCI fazi unutar kategorija utjecaja pomoću konverzijskih faktora, tako je na slici 24. prikazan ukupan utjecaj odabranih procesa na klimatske promjene na globalnoj razini.



Slika 24. Utjecaj cjelokupnog procesa na klimatske promjene

U nastavku na slici 25. prikazan je još jedan od utjecajnih faktora na okoliš ovoga puta u pogledu utjecaja cjelokupnog procesa kroz onečišćenje okoliša radijacijom.



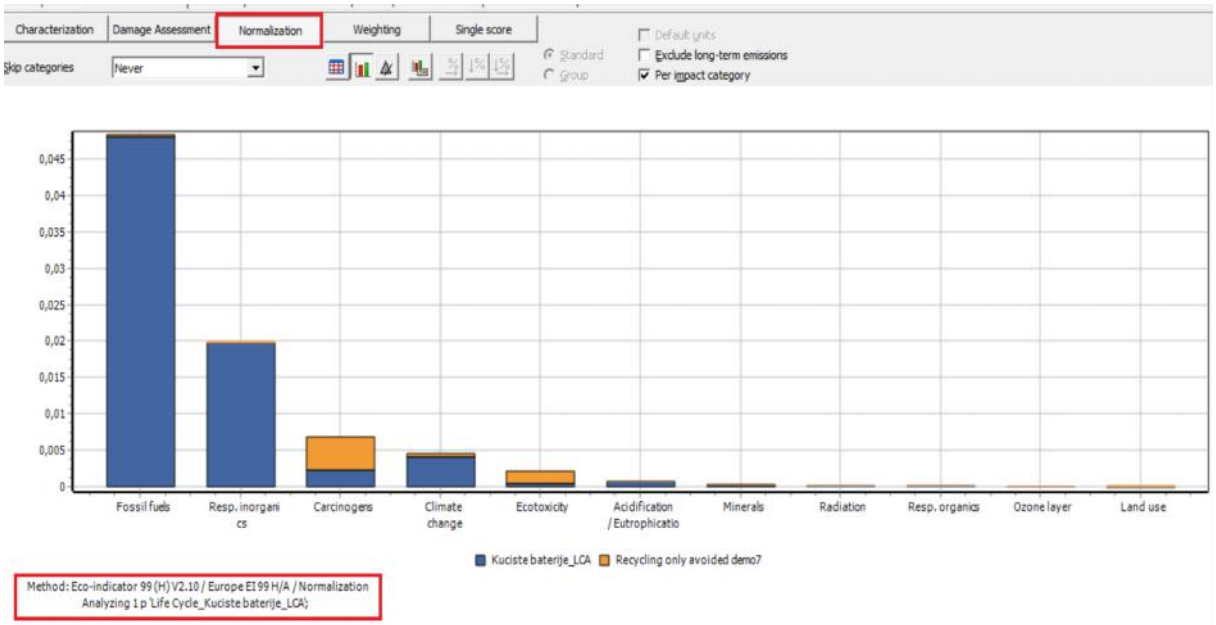
Slika 25. Utjecaj cjelokupnog procesa na onečišćenje okoliša radijacijom

Kod karakterizaciji utjecaja na okoliš koriste se konverzijski faktori, odnosno karakterizacijski faktori, koji su nastali na temelju znanstvenih analiza. Ti faktori služe kako bi se veličine dobivene u LCI fazi analize prevele u reprezentativne indikatore utjecaja na zdravlje ljudi i eko-sustava. Dakle, karakterizacija se koristi kako bi se različite veličine prevele u indikatore utjecaja koji su jasni i razumljivi za primjenu.

Normiranje

Kroz ovaj korak normiraju se, odnosno normaliziraju utjecajni faktori kako bi se mogli relevantno uspoređivati unutar određenih kategorija. Normalizacija također daje osnove za usporedbu različitih kategorija tipova utjecaja na okoliš. Svim učincima se dodjeljuje ista mjerna jedinica. Normalizacija se vrši na način da se dobiveni indikatori utjecaja podijele s odabranom referentnom vrijednošću. Referentna vrijednost može predstavljati neki empirijski podatak dobiven iz prakse koji je relevantan da se s obzirom na njega provodi analiza. Primjerice, kod provođenja LCA analize prema metodi ekoloških indikatora, kao referentna vrijednost uzima se doprinos prosječnog Europljanina onečišćenju okoliša tijekom godine.

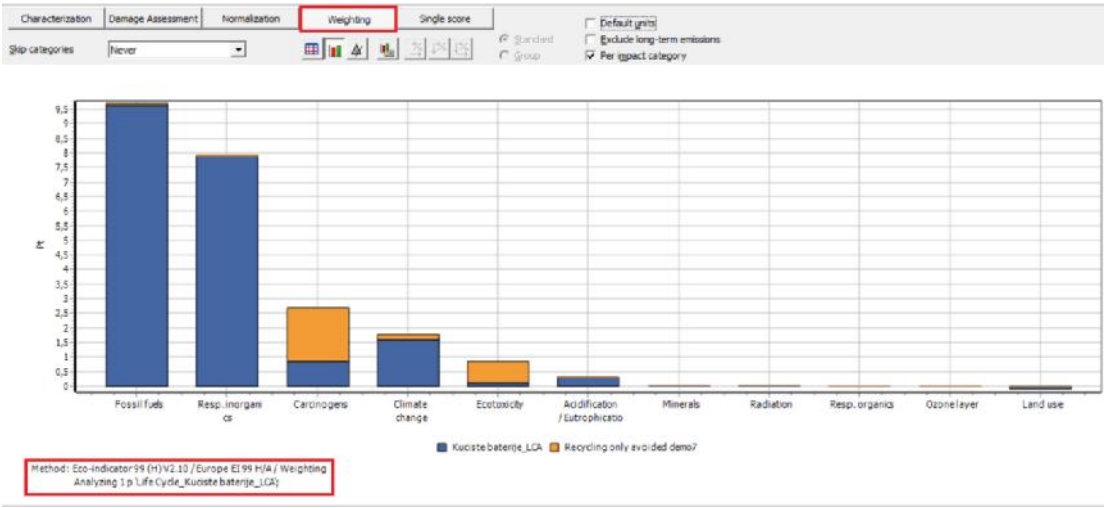
Na slici 26. u nastavku prikazan je dijagram koji daje uvid u to koliko pojedina kategorija utjecaja (11 ranije navedenih) doprinosi onečišćenju okoline u odnosu na onečišćenje koje se može pripisati prosječnom stanovniku EU tijekom jedne godine (Eco-indicator 99 (H) v2.10 / Europe EI 99 H/A).



Slika 26. Prikaz faze normiranja na cjelokupni proces

Mjerenje jačine utjecaja na okoliš - "weighting"

Nakon što je završen korak normiranja može se prijeći na sljedeći korak, a to je mjerenje jačine utjecaja ili "weighting". Iako su potencijali utjecaja nakon normalizacije za dvije različite kategorije jednaki, to i dalje ne znači da su ti utjecaji jednako štetni. Kako bismo bili u mogućnosti usporediti potencijale za različite kategorije, provodi se korak mjerenja jačine utjecaja u kojem se normalizirana vrijednost množi s težinskim faktorom.



Slika 27. Prikaz faze „weighting“ na cjelokupni proces

S dijagramskog prikaza na slici 27. možemo vidjeti i zaključiti kako najveći utjecaj na okoliš od svih faza i procesa koje se pojavljuju u sklopu ove LCA analize kućišta baterije ima izgaranje fosilnih goriva te zagađenje zraka anorganskim tvarima.

Provođenjem ovog koraka završava treća faza LCA analize a to je određivanje utjecaja na okoliš (LCIA analiza). Ostaje provesti još posljednji korak analize, a to je interpelacija rezultata..

6.2.4. Interpretacija

Kada bi se radilo o dublje usmjerenoj LCA analizi u okviru ove faze razmatrale bi si posljedice pojedinih utjecajnih faktora po kategorijama utjecaja na okoliš, pokušalo bi se dokučiti razloge zašto je raspodjela utjecaja upravo takva kakva je i dr. Za takvu vrstu interpretacije bili bi potrebni interdisciplinarni timovi stručnjaka iz raznih područja, čak i iz medicine, ekonomije, geografije i dr. na prvu nevezanih zanimanja za proces proizvodnje jedne baterije. Međutim, u okviru ovog završnog rada pažnja pri interpretaciji rezultata LCA analize biti će stavljena na svrhu i opseg analize. Provjera bi se radila za poznate konkretne tehnologije i materijale te konkretnim mjerenjima štetnih tvari!

Slika 28. Prikaz utjecajnih faktora po procesima

Slika 28. daje dijagramski prikaz utjecajnih faktora u proizvodnji i reciklaži kućišta baterije, Iz dijagrama je vidljivo kako se najveći dio utjecaja na okoliš javlja kao posljedica izgaranja fosilnih goriva u procesu proizvodnje i dovoza sirovine, dok je prilikom reciklaže najveći utjecaj kancerogenosti materijala (poli(vinil-klorida)) prilikom obrade na kraju životnog vijeka.

Provođenjem ovog završnog koraka u sklopu LCA analize ostvaren je početni, ujedno i temeljni cilj ove analize, a to je bilo pronalaženje „kritičnih točaka“ u odabranim procesima po pogledu štetnosti utjecaja na okoliš.

Nakon ove pojednostavljene analize, sljedeći korak mogao bi biti analiza cjelokupnog životnog ciklusa kompletnog baterijskog paketa, gdje bi se u obzir uzele komponente baterije koje bude najviše zabrinutosti po pitanju ekologije, kao što su elektroliti. Dodatna zanimljivost bi svakako bila uzimanje procesa rudarenja sirovina za proizvodnju elektroda, kao što je na primjer litij, koji je po prirodi težak materijal za eksploataciju. Tako bi se dobila kompletna slika o štetnosti utjecaja tog proizvoda na okoliš po principu "od kolijevke pa do groba", te bi se nakon takve analize mogle dati pretpostavke i prijedlozi unaprjeđenja cjelokupnog tehnološkog procesa promatranog proizvoda.

7. ZAKLJUČAK

Svrha ovog rada bila je prikazati mogućnosti primjene procjene utjecaja životnog ciklusa proizvoda na okoliš (LCA analize). Kroz primjer kućišta baterije električnog vozila dan je uvid u održivu proizvodnju.

U posljednje vrijeme utjecaj životnog vijeka proizvoda na okoliš postaje sve bitnija karakteristika. Konstruktori pri konstrukciji novih proizvoda ili poboljšavanju postojećih sve više vode računa upravo o tom aspektu. Eko dizajn u konstrukciji ističe se kao trenutni i budući trend razvoja novih proizvoda. Uz mnogo drugih bitnih zahtjeva koje proizvod mora zadovoljiti, ekološka prihvatljivost svakako je u vrhu. Ekološka prihvatljivost postala je zahtjev koji proizvod mora ispuniti ako želi biti konkurentan na tržištu. Stoga, korištenje LCA metode u toku razvoja proizvoda znači dodavanje ekološkog aspekta tradicionalnom postupku donošenja odluka kojim su do sada dominirali tehnološki i ekonomski čimbenici.

Dodatno, nakon provedene analize, na temelju dobivenih rezultata može se zaključiti sljedeće:

- Utjecaji na okoliš koji se javljaju kao posljedica injekcijskog prešanja kućišta baterije u najvećoj mjeri se mogu pripisati potrošnji i dobavi energije i sirovina. Ta činjenica prepoznata je i na svjetskoj razini, te postoje brojne studije i analize koje imaju za cilj optimiziranju potrošnje energije i sirovina.
- Onečišćenje koje se javlja kao posljedica proizvodnje kućišta baterije značajno je, a pogotovo ako se u obzir uzmu budući trendovi kada se očekuje sve veća potražnja za električnim vozilima pa je time povećana potreba za proizvodnjom baterija i njihovih kućišta.
- Nakon provedene analize i dobivenih rezultata s pravom se treba zapitati koji je stvarni ekološki aspekt električnih vozila, tj. je su li ona kada se u obzir uzme cjelokupni životni ciklus uopće tako ekološki prihvatljiva kao što ih se pokušava predstaviti.

Zaključno se može reći kako LCA metoda i njezina primjena u poticanju održivosti industrijske proizvodnje može imati velik utjecaj na budućnost našega planeta. Mogućnosti koje LCA nudi otvaraju prostor za napredak u mnogim područjima ljudskog djelovanja kako bi se planet sačuvao i zaštitio za buduće generacije.

8. LITERATURA

[1] Harold Hotelling, The Economics of Exhaustible Resources, Journal of Political Economy, Vol. 39, No. 2 (Apr., 1931), pp. 137-175 http://msl1.mit.edu/classes/esd123/2003/bottles/Hotelling.pdf (pristupljeno 12. rujna 2016.)

[2] Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva Republike Hrvatske, Održiva potrošnja i proizvodnja, Zagreb, 2004. http://mzoip.hr/doc/odrziva_potrosnja_i_proizvodnja.pdf (pristupljeno 12. prosinca 2015.)

[3] The Impact of Sustainable Manufacturing Practices and Innovation Performance on Economic Sustainability; Norsiah Hamia , Mohd Razali Muhamadb, Zuhriah Ebrahimb; 12th Global Conference on Sustainable Manufacturing – Malaysia 2014.

[4] European Commissions, Reducing CO2 emissions from passenger cars, 2015. http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars/index_en.htm (pristupljeno 12. prosinca 2015.)

[5] Beyond Greening: Strategies For A Sustainable World, Stuart L. Hart, Harvard Business Review, 1997.

[6] HomeTips, Green Products From Manufacturing Perspective http://www.hometipsforwomen.com/wondering-what-green-products-are (pristupljeno 14. prosinca 2015.)

[7] DIREKTIVA VIJEĆA 2008/1/EZ O integriranom sprječavanju i kontroli onečišćenja, Službeno glasilo Europske unije, 2008.

[8] Električni automobil - povijest razvoja i sastavni dijelovi; M. Stojkov, D. Gašparović, D. Pelin, H. Glavaš, K. Hornung, N.Mikulandra; Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Osijek, 2014.

[9] Leksikografski zavod Miroslav Krleža – Internet izdanje, Električni motor, Zagreb http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=17584 (pristupljeno 9. siječnja 2016.)

[10] Dominik Sremić, Završni rad, Električni romobil, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2014.

[11] Michael Bloom, The Brushless DC Motor and Its Use in Electric Cars, 2013. http://buildipedia.com/aec-pros/design-news/the-brushless-dc-motor-and-its-use-in-electric-cars (pristupljeno 9. siječnja 2016.)

[12] Hrvatski leksikon, Komutacija – značenje, 2015. http://www.hrleksikon.info/definicija/komutacija.html (pristupljeno 9. siječnja 2016.)

[13] Educypedia – electronics, 2 Pole Brushless DC Motor Animation http://educypedia.karadimov.info/library/2-pole_bldc_motor.swf

[14] Canadian Automobile Association, Battery tipes http://electricvehicles.caa.ca/types-of-electric-vehicles/battery-types/ (pristupljeno 9. siječnja 2016.)

[15] B.Brezina, Ž.Stanečić, Stručni rad, NiMH akumulatori, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2013. https://www.fer.unizg.hr/_download/forum/NiMH_akumulatori_-_Brezina,_Stane%C4%8Di%C4%87.doc (pristupljeno 9. siječnja 2016.)

[16] O. Cecelja, Izvori napajanja elektroničkih uređaja – LiION akumulatori, Seminarski rad, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2013. http://www.fer.unizg.hr/_download/forum/INEU_Seminar_Ozren_Cecelja_LiION_akumulatori%5B2%5D.docx (pristupljeno 25.8.2016.)

[17] Marko Delimar, Spremnici energije – Baterije, Skripta za predavanja, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2016. https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/04_Baterije.pdf(pristupljeno 25.8.2016.)

[18] Izrada električnog automobila, TŠ Pula, TŠC Nova Gorica, ITIS Cardano Pavia, Pula 2013. http://ss-tehnicka-pu.skole.hr/upload/ss-tehnicka-pu/images/static3/1039/attachment/R15_Izrada_elektricnog_automobila1_final1.pdf (pristupljeno 26.8.2016.)

[19] Kolegij "Mjerne metode", Metode za mjerenje istosmjernih napona i struja, Fakultet Elektrotehnike i Računarstva, Zagreb, 2016. https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/MM_-_Tema3%5B1%5D.pdf (pristupljeno 26.8.2016.)

[20] http://www.toyota-centar.hr/toyota-prius/tehnicke-karakteristike (pristupljeno 26.8.2016.)

[21] https://www.tesla.com/models (pristupljeno 26.8.2016.)

[22] Smart Cities – Postavke i perspektive, Fakultet Elektrotehnike i Računarstva, Zagreb https://www.fer.unizg.hr/_news/59300/FER_Lider_EPLL_Smart_City_2015_05.pdf (pristupljeno 27.8.2016.)

[23] A. Erceg, Carsharing situation in Croatia, Ekonomski vjesnik, Br. 1/2014. Osijek, 2014. http://hrcak.srce.hr/file/188680 (pristupljeno 29.8.2016.)

[24] http://futureofcarsharing.com/ (pristupljeno 30.8.2016.)

[25] http://www.spincity.hr/ (pristupljeno 30.8.2016.)

[26] I. Glumpak, Diplomski rad – Utjecaj sustava za upravljanjem okolišem na životni ciklus proizvoda, Zagreb, 2009.

[27] Međunarodna norma ISO 14044:2006, Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework http://www.pqm-online.com/assets/files/lib/std/iso_14040-2006.pdf (pristupljeno 1.9.2016.)

[28] https://simapro.com/ (pristupljeno 7.9.2016.)

[29] http://batteryuniversity.com/learn/article/electric_vehicle_ev (pristupljeno 12.9.2016.)

[30] Claus Daniel, Materials and Processing for Lithium-ion Batteries, JOM, rujan 2008. http://www.tms.org/pubs/journals/jom/0809/daniel-0809.html (pristupljeno 12.9.2016.)

[31] https://www.pre-sustainability.com/download/SimaPro8Tutorial.pdf (pristupljeno 7.9.2016.)

[32] http://www.mpoweruk.com/pack_construction.htm (pristupljeno 12.9.2016.)

[33] http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=49251 (pristupljeno 12.9.2016.)

[34] http://www.injectionmoldchina.net/cost-analysis.html (pristupljeno 12.9.2016.)

[35] Vanja Matković, Metodičko konstruiranje kalupa za injekcijsko prešanje tankostjenog poklopca, Diplomski rad, FSB, Zagreb, 2010.

[36] Eric Swan, All Electric Injection Molding Machines: How Much Energy Can You Save?, Sonoma, 2008. http://oaktrust.library.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/87974/ESL-IE-08-05-06.pdf?sequence=1 (pristupljeno 12.9.2016.)